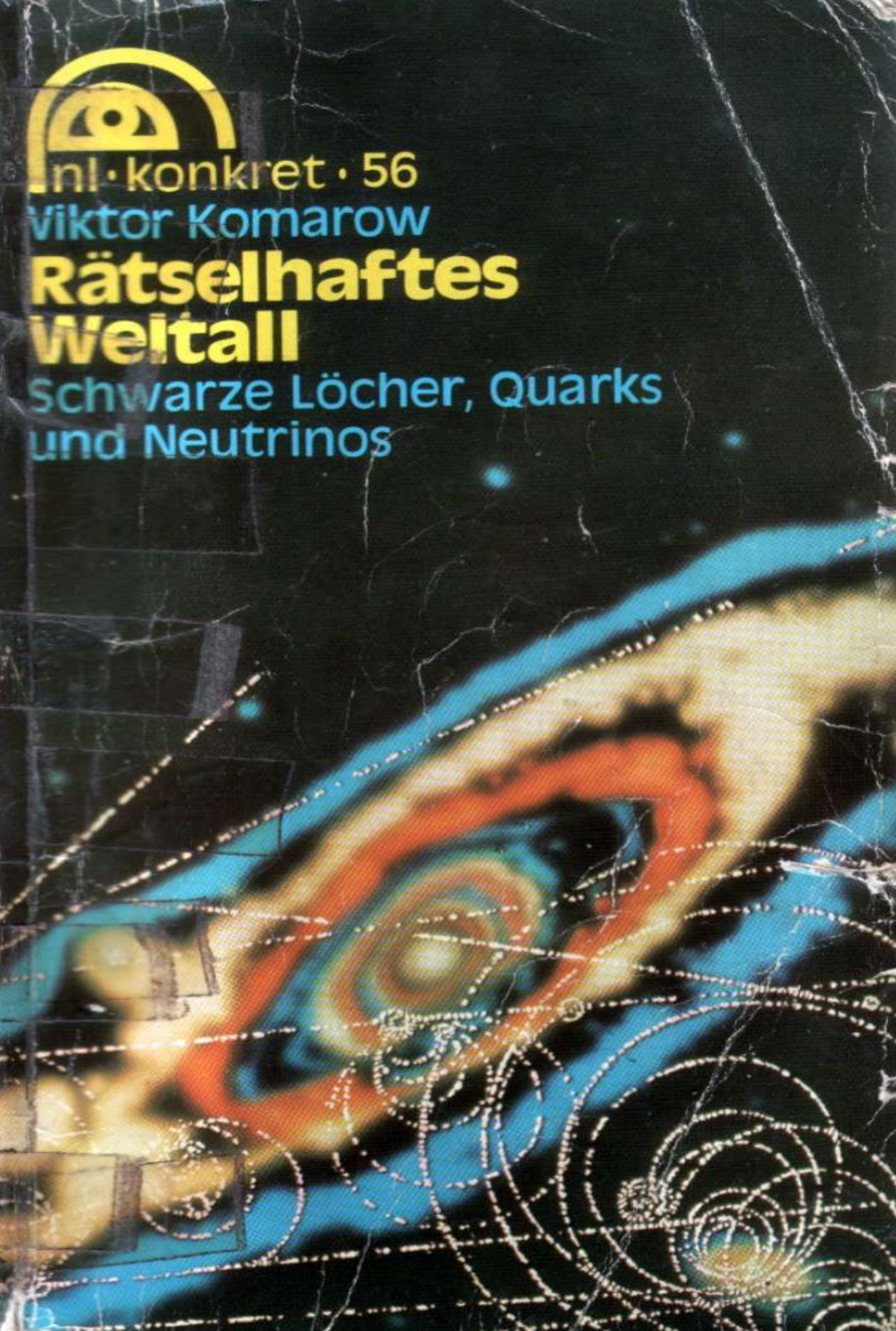
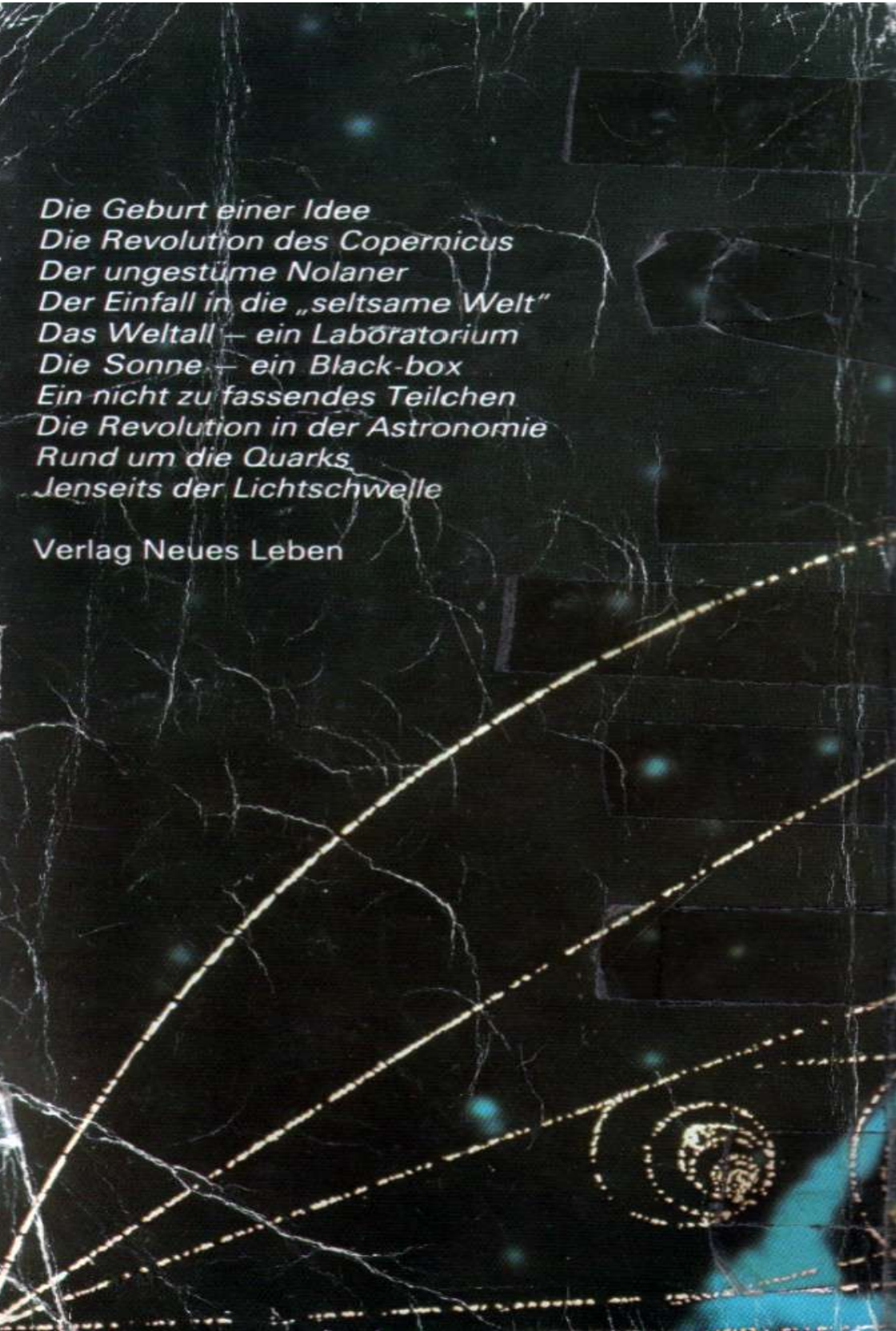


nl · konkret · 56

Viktor Komarow

Rätselhaftes Weltall

Schwarze Löcher, Quarks und Neutrinos



Die Geburt einer Idee
Die Revolution des Copernicus
Der ungestüme Nolaner
Der Einfall in die „seltsame Welt"
Das Weltall – ein Laboratorium
Die Sonne – ein Black-box
Ein nicht zu fassendes Teilchen
Die Revolution in der Astronomie
Rund um die Quarks
Jenseits der Lichtschwelle

Verlag Neues Leben

Über den Autor

Stationen
Viktor Nojewitsch Komarow, geboren 1924 in Rostow am Don.
1942 Absolvierung der 1. Moskauer Artillerieschule, anschließend der Artillerieschule in Tomsk. Teilnahme am Großen Vaterländischen Krieg, 1943 schwere Verwundung. Nach Kriegsende Studium an der Physikalischen Fakultät der Moskauer Lomonossow-Universität. Viktor Komarow ist Vorsitzender der Sektion Astronomie und Kosmonautik am Moskauer Planetarium und Mitglied des Journalistenverbandes.

Publikationen
Komarow hat über dreißig Bücher veröffentlicht, darunter populärwissenschaftliche, wissenschaftlich - phantastische und belletristische Literatur. Viele seiner Werke wurden ins Englische, Französische, Deutsche, Tschechische, Bulgarische, Japanische und Arabische übersetzt. In der DDR sind bisher erschienen:
Die Zukunft - ein Rätsel? (1975), Neue unterhaltsame Astronomie (1977) und Auf den Spuren der Unendlichkeit (1978).

Rätselhaftes Weltall

Schwarze Löcher, Quarks, Neutrinos

Verlag Neues Leben Berlin

Titel der russischen Originalausgabe:
Влесенная видимая и невидмая
Erschienen im Verlag «Snanije«, Moskau
Ins Deutsche übertragen von Friedrich Bergner
Der Text der russischen Ausgabe wurde für die Veröffentlichung in der DDR vom Autor überarbeitet und ergänzt.

© Verlag Neues Leben, Berlin 1983
2. unveränderte Auflage, 1985
Lizenz Nr. 303 (305/258/85)
LSV1499
Umschlag: Hellmut Waengler; Farbfoto: Peter Garbe
Typografie: Erika Wald
Fotos: Archenhold Sternwarte/K. Thiemann (2)/Archiv K. Thiemann (4)
Institut für Hochenergiephysik der AdW der DDR/Ch. Engelhardt (1)
Archiv Ch. Engelhardt (3)
Schrift: 9 p Univers
Lichtsatz: (140) Druckerei Neues Deutschland, Berlin
Druck und buchbinderische Weiterverarbeitung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Bestell-Nr, 643 567 5

00390

Inhalt

7 Die Welt wird zwangsläufig immer seltsamer

16 Von Heraklit zu Einstein 1

16 Wie ist die Welt gebaut?
16 Die Geburt einer Idee
18 Jahrhunderte später
20 Die Revolution des Copernicus
24 Der ungestüme Nolaner
26 In der Sprache der Mathematik
27 Der Einfall in die »seltsame Welt«
33 Aus philosophischer Sicht

37 Das erstaunliche Weltall 2

37 Der Weg der Erkenntnis
46 Das Weltall - ein Laboratorium
48 Hier ist der Sender »Weltall«
55 Das unsichtbare Weltall
59 Gravitationswellen
61 Die Sonne - ein Black-box
63 Ein nicht zu fassendes Teilchen
70 Das überraschende Weltall
75 Weltall und Kosmologie
78 Modelle des Weltalls
86 Weltall und Neutrino
92 Die Kosmologie gestern, heute und morgen
99 Die Welt, wie sie ist
105 Die Revolution in der Astronomie
110 Dem Gewohnten zuwider

114 Von den Elementarteilchen zu den Galaxien **3**

114 Rund um die Quarks
128 Jenseits der Lichtschwelle
134 Wie schwer ist ein Schwarzes Loch?
136 Das seltsame Vakuum
142 Doch nicht ganz »schwarz«
146 Schlußbemerkung

Die Welt wird zwangsläufig immer seltsamer

Um die Jahrhundertwende begann die «neueste Revolution in der Naturwissenschaft«, als deren Ergebnis sich das gesamte physikalische Weltbild grundlegend wandelte. Das Vordringen in das Innere des Atoms, in die Mikrowelt ließ den Menschen auf eine ganze Reihe erstaunlicher Erscheinungen stoßen. Vor der Wissenschaft öffnete sich eine neue Welt, die derjenigen, mit der die Physik seit Newton zu tun gehabt hatte, gar nicht mehr ähnelte.

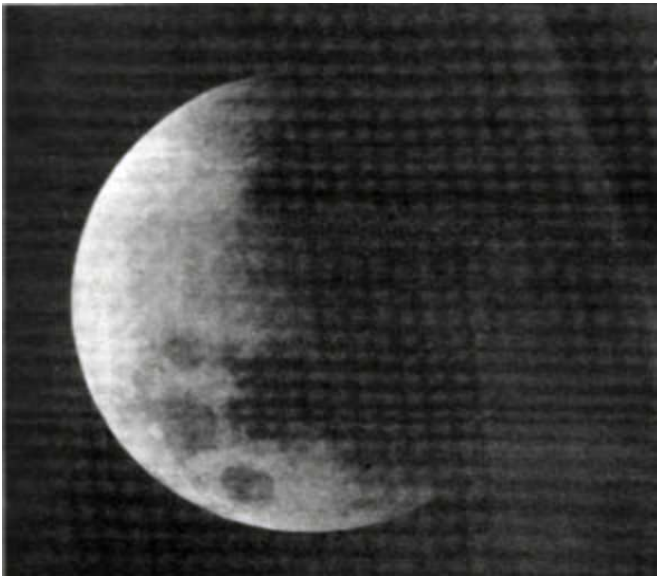
1962 erschien mit dem Titel »Die Welt wird zwangsläufig immer seltsamer« ein sehr anregendes Buch des sowjetischen Schriftstellers Daniil Danin. »Dieses Buch«, hieß es in der Vorrede an den Leser, »ist eine Art Bericht eines Forschungsreisenden in das Land der Elementarteilchen, wo er der seltsamen Welt überraschender Gedanken und Vorstellungen der Physik unserer Zeit begegnete.«

Es gelang dem Schriftsteller, den Stand der Physik des 20. Jahrhunderts wiederzugeben und einen charakteristischen Grundzug - die wachsende Zahl seltsamer Entdeckungen - zu erkennen, woraus er den Schluß zog, daß dies zwangsläufig so ist. Die Entdeckung neuer Elementarteilchen, neuer Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten der Mikroobjekte war ihm ein überzeugender Beweis dafür, daß die Physik unausweichlich auf immer seltsamere Erscheinungen stoßen muß, je weiter sie zu den Geheimnissen des Baus der Materie vordringt.

Das war auch gar nicht anders zu erwarten, denn die uns umgebende Welt ist unendlich vielfältig. Ungezählt sind die in ihr auftretenden Erscheinungen, die zwischen ihnen bestehenden Verbindungen und Beziehungen. Darauf hat auch Lenin direkt hingewiesen, als er betonte, daß jedes natürliche Objekt unerschöpflich und die Natur unendlich ist. Im Prozeß der Erkenntnis wird der Mensch daher stets Neues und Überraschendes entdecken.

Als das Buch Danins erschien, war die »seltsame Welt« der Physik schon recht dicht besiedelt. Zu ihren zahlreichen »Bewohnern« zählten erstaunliche Umwandlungen von Elementarteilchen, die Abhängigkeit der Masse eines Körpers von seiner Geschwindigkeit, die Unbestimmt–heitsrelation, die die gleichzeitige exakte Messung der Geschwindigkeit und des Ortes eines Mikroteilchens prinzipiell ausschließt, verblüffende Effekte der speziellen Relativitätstheorie, die Krümmung des Raumes und solche vom

Standpunkt der klassischen Physik aus unerhörten Theorien wie die Quantenmechanik und die Quantenelektrodynamik.
Die Mikrowelt ist jedoch nur die eine Seite, der eine »Pol«. Die andere ist das Weltall.
1963. Das zweite Jahrzehnt der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts: der erste künstliche Erdsatellit, der Weg zum Mond, Fotos von der für uns unsichtbaren Seite unseres natürlichen Trabanten, die ersten Starts zur Venus, Juri Gagarins Pioniertat. So betrat der Mensch den Kosmos und wurde zum unmittelbaren Teilnehmer an kosmischen Erscheinungen. Das Ferne und Unzugängliche rückte näher und wurde der direkten Wahrnehmung zugänglich. Das alles mußte zu einem erhöhten Interesse an der Erforschung des Weltalls führen.
Bereits in den Vorkriegsjahren trat an die Seite der herkömmlichen optischen Forschungsmethoden die Radioastronomie. Damit wurde ein weiterer Kanal für einzigartige Informationen über physikalische Vorgänge im Kosmos erschlossen. Die kosmische Radiostrahlung wurde zum Boten des Ungewöhnlichen: Sie entsteht zumeist dort, wo sich stürmische physikalische Prozesse abspielen, von denen Lichtstrahlen bei weitem nicht alles berichten können.
So begann eine Jagd besonderer Art. Nahezu jede neue Beobachtungsserie brachte Entdeckungen, die unser Wissen über kosmische Erscheinungen erweiterten und vertieften. Die Astronomen befaßten sich mit einer peinlich genauen Sichtung ihres kosmischen »Inventars«. Viele Objekte, die früher kein besonderes Interesse geweckt hatten, gerieten plötzlich in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit, denn sie sandten nicht nur sichtbares Licht, sondern auch Radiowellen aus. Zu diesen Objekten gehörten auch die sogenannten blauen Sterne. Es war knapp hundert Jahre her, daß man sie zum erstenmal fotografiert hatte, und auf den Fotos zeichneten sie sich kaum vor den anderen Sternen des Milchstraßensystems aus. Gewiß, man meinte, daß sie eine abnorm starke Ultraviolettstrahlung haben, aber dem maß man keine besondere Bedeutung bei. Erst als sich herausstellte, daß die blauen Sterne außerdem Radioquellen sind, begann man sich gründlicher mit ihnen zu befassen und fotografierte ihre Spektren - und damit begann es. Tagelang vertiefte sich Maarten Schmidt, ein gebürtiger Holländer, der an einem Observatorium in den Vereinigten Staaten arbeitete, in das Spektrum eines blauen Sterns, der im Katalog der kosmischen Radioquellen unter der Indexnummer 3C 273 registriert ist. Es war ein rätselhaftes Spektrum: Seine Linien entsprachen keinem einzigen der bekannten chemischen Elemente. Zugleich sah es aber auch irgendwie bekannt aus.


Totale Mondfinsternis (9. Januar 1982)

Immer wieder betrachtete Schmidt drei ziemlich scharfe Linien, deren gegenseitige Lage der gutbekannten Balmer-Serie, den drei Emissionslinien des Wasserstoffs, stark ähnelte. Im Spektrum der Radioquelle 3C 273 waren diese drei Linien aber nicht dort, wohin sie gehörten, sondern deutlich zum Rotbereich des Spektrums verschoben. Diese Rotverschiebung weist gewöhnlich darauf hin, daß sich die außergalaktischen Objekte von uns entfernen.
Schmidt erwog alle nur denkbaren Erklärungen für die seltsame Lage der Spektrallinien, darunter auch die folgende Variante: Die drei rätselhaften Linien gehören zum Wasserstoff, sind aber in Richtung des Rotbereichs verschoben. Diese Annahme war zwar ganz natürlich, zog aber automatisch eine ganze Kette logischer Folgerungen nach sich, die unerbittlich zu einem völlig überraschenden Resultat führten. Wenn die ungewöhnliche Lage der Wasserstofflinien im Spektrum von 3C 273 eine Folge der Rotverschiebung ist, muß sich dieses Objekt nach einem fundamentalen Gesetz der modernen Astrophysik in einer Entfernung von einigen Milliarden Lichtjahren, fast an der Grenze des beobachtbaren Weltalls, befinden. Dem konnte man übrigens noch ohne besonderen inneren Widerstand beipflichten, wenn es

nicht das folgende Glied in der logischen Kette gegeben hätte. Ein Milliarden Lichtjahre von uns entferntes Objekt kann im optischen und im Radiowellenbereich nur unter einer Bedingung ebenso »hell« strahlen wie Objekte unserer Galaxis: Es müßte dann eine unwahrscheinlich gigantische Energie–menge ausstrahlen. Weitere Berechnungen verstärkten nur das Gefühl der Unwahrscheinlichkeit: Die blaue Radioquelle strahlt annähernd hundertmal mehr Energie aus als die uns bekannten größten Riesengalaxien, die aus Hunderten von Milliarden Sternen bestehen. Außerdem besagten die Beobachtungsdaten, daß die Radioquelle 3C 273 ebenso wie andere blaue Sterne kompakte Gebilde sind, die sich, was ihre Größe anlangt, nicht mit den riesigen Sterneninseln des Weltalls vergleichen lassen. Unsere Milchstraße hat einen Durchmesser von 100000 Lichtjahren, die blauen Sterne dagegen erreichen einen Durchmesser von maximal einem Lichtjahr. Wie ist es möglich, daß ein im Vergleich zu den Galaxien so kleiner Körper eine hundertmal größere Energie ausstrahlen kann? Das fügte sich in keiner Weise in die damaligen physikalischen Vorstellungen ein.

Wie auch immer - am 16. März 1963 erschien in der englischen Zeitschrift »Nature« ein kurzer Aufsatz von Maarten Schmidt, in dem er seine Hypothese darlegte: Die blauen Radioquellen sind sehr weit von unserem Milchstraßensystem entfernte Objekte. Das war keine bloße Vermutung. Wenn die drei rätselhaften Linien im Spektrum von 3C 273 tatsächlich zum Wasserstoff gehören und nur in den Rotbereich verschoben sind, muß sich eine weitere Wasserstofflinie im- Infrarotbereich befinden. Schmidt gab genau an, wo sie sein mußte. Und sie wurde tatsächlich an der von Schmidt vorausgesagten Stelle gefunden.

So kam es zu einem der bedeutendsten Ereignisse in der modernen Naturwissenschaft, zur Entdeckung der erstaunlichen kos-rmschen Objekte, die später die Bezeichnung »Quasare«* erhielten. Einige Zeit später sagte der Astrophysiker Igor Nowikow, Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, ein noch verhältnismäßig junger, aber schon in der ganzen Welt bekannter Theoretiker: »Wenn man den Physikern einige Jahre vor der Entdeckung der Quasare deren Eigenschaften beschrieben hätte, hätten sie einmütig erklärt, daß solche Objekte in der Natur überhaupt nicht existieren können.«

Die Quasare zeigten nicht nur, daß zur seltsamen Welt auch kosmische Erscheinungen gehören. Vielmehr war ihre Entdeckung ein Schritt in eine noch seltsamere Welt.

* Kurzwort aus »quasi-stellar radio source« (Übers.)

Geht es etwa nur um die Quasare? Nein, denn mit der weiteren Entwicklung der Astrophysik erstand das gesamte Weltall vor uns in einem völlig neuen Licht.

Bis zum Beginn unseres Jahrhunderts zweifelte niemand daran, daß das Weltall stationär ist, daß es sich in seinen Grundeigenschaften nicht mit der Zeit ändert, daß sich die erdrückende Mehrheit der Sterne gleichmäßig und allmählich entwickelt und dabei von einem stationären Zustand in einen anderen übergeht. Diese Ansicht vertrat auch ein so hervorragender Physiker wie Albert Einstein.

Bereits in den zwanziger Jahren wurde aber dann die Expansion des Weltalls entdeckt. Und einige Jahre später sprach Akademiemitglied Ambarzumjan den Gedanken aus, daß im Weltall nichtstationäre Erscheinungen eine höchst wichtige Rolle spielen. Das war ein wahrhaft prophetischer Gedanke. Und die Quasare schließlich sind auch nur eine Episode. Viel wesentlicher ist, daß wir im Weltall nahezu überall, auf buchstäblich allen Existenzniveaus der kosmischen Materie, auf Erscheinungen nichtstationären Charakters stoßen.

Auch der Charakter der Astronomie selbst hat sich gewandelt. In einer noch gar nicht so weit zurückliegenden Vergangenheit war sie eine »statische« Wissenschaft, die sich hauptsächlich mit der Ermittlung des Ortes der Himmelskörper, mit der Berechnung ihrer Bahnen und mit ähnlichen Aufgaben befaßte. Der Begriff »Entwicklung« fehlte in dieser Astronomie.

Dann aber vollzog sich in der Astronomie etwa dasselbe wie in der Biologie nach dem. Erscheinen der Darwinschen Evolutionslehre. Der Astrophysiker J. S. Schklowski, Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, schreibt: »Seit der Nachkriegszeit bezieht die Astronomie ihre Informationen aus allen Wellenbereichen, und seitdem ist eine Vielzahl nichtstationärer Prozesse, die auf verschiedenen Niveaus zu beobachten sind, entdeckt worden… Das Bild, das wir vom Weltall haben, hat eine qualitative Veränderung erfahren. Während sich die Astronomen früher das Weltall statisch oder quasistatisch (was in manchen Fällen zulässig ist) vorstellten, hat sich der Schwerpunkt der astronomischen Forschung heute in Richtung der Untersuchung nichtstationärer Prozesse verlagert.« Die neuesten Entdeckungen und ihre Deutung haben die moderne Astronomie zu einer evolutionären Wissenschaft gemacht. Evolution ist, wie Jossif Schklowski in einem Vortrag gesagt hat, auf allen Ebenen zu beobachten, alles wandelt sich, alles »atmet«. Nach allem zu urteilen, spielt sich jedoch das Erstaunlichste, das Außergewöhnlichste dort ab, wo Mikrowelt und Weltall gewissermaßen aneinandergrenzen, wo Eigen–

schaften des Kleinen und des Großen, der Elementarteilchen und der kosmischen Welten, miteinander verschmelzen.
Die Wissenschaft kann nicht ohne Ideen existieren. Sie werden in den Köpfen der Forscher als Ergebnis der Analyse und Verallgemeinerung von Befunden und Erkenntnissen geboren, leben im Denken und Handeln der Wissenschaftler und üben ihren Einfluß auf die weitere Entwicklung des Wissens aus. Es gibt jedoch unterschiedliche Ideen. Die einen sind begrenzt, speziell und dienen der Lösung bestimmter konkreter Aufgaben. Andere bilden die Grundlage für neue fundamentale Theorien. So wurde Albert Einsteins Idee von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, von ihrer Unabhängigkeit vom Charakter der Bewegung des Bezugssystems zum Fundament der Relativitätstheorie. Und Max Plancks Idee von der Quantelung der Energie, nach der die Energie in bestimmten diskreten Portionen, in Quanten, freigesetzt wird, führte zur Entwicklung der Quantenphysik. Noch andere Ideen, die als geniale Vermutung, als kühne Annahme entstanden sind, wecken die allgemeine Aufmerksamkeit der Naturforscher, regen sie dazu an, beharrlich nach einer Antwort auf eine gestellte Frage zu suchen.
Schließlich gibt es Ideen, die tief im theoretischen Denken geboren werden, sich hartnäckig ihren Weg bahnen und letzten Endes ihre Realisierung in grandiosen wissenschaftlich - technischen Werken finden. Das gilt zum Beispiel für Kibaltschitschs und Ziolkowskis Idee von der Erforschung und Erschließung des Weltraums mit Hilfe von Raketen.
Ihre Vollendung erreichen solche Ideen gewöhnlich mit der Lösung des entsprechenden wissenschaftlichen oder technischen Problems. Sie haben ihre Rolle gespielt und gehen in die Geschichte der Naturwissenschaft ein.
Darüber hinaus gibt es aber auch universelle philosophisch-methodologische Ideen, die große Bedeutung für die Naturwissenschaft als Ganzes haben. Sie formen sich im Prozeß der Entwicklung der Wissenschaft, erhalten überzeugende Bestätigungen, gehen den meisten Wissenschaftlern in Fleisch und Blut über und werden zu einem wirksamen Instrument der wissenschaftlichen Erkenntnis. Sie haben große heuristische Kraft, lenken das Denken in bestimmte Richtungen und helfen, neue wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse zu deuten und neue Wege der Erkenntnis der Natur zu bahnen.
Zu den globalen Ideen gehört zweifellos auch der Gedanke, daß die Welt immer seltsamer wird. Dahinter steht das Prinzip, daß die Forschung ständig bestrebt sein muß, das hinter dem Äußeren versteckte wahre Wesen der Erscheinungen zu erkennen und die hypnotische Wirkung gewohnter Vorstell–

ungen zu überwinden. Der Gedanke, daß die Welt zwangsläufig immer seltsamer wird, hat sich mit der Entwicklung der Wissenschaft gewandelt, zieht sich aber wie ein roter Faden durch die ganze Geschichte der Naturwissenschaft,, vor allem der Physik und der Astronomie.

Karl Marx schrieb, daß es »ein Werk der Wissenschaft ist, die sichtbare, bloß erscheinende Bewegung auf die innere wirkliche Bewegung zu reduzieren«*.

Im Prozeß der Entwicklung der Naturwissenschaften ergab sich für die Wissenschaftler, besonders in der Physik und der Astrophysik, wiederholt die Frage, wieweit es gesetzmäßig und unausweichlich ist, daß sie auf außergewöhnliche Erscheinungen stoßen, die sich nicht in den Rahmen des bis dahin vorliegenden Wissens einordnen lassen. Das geschah in der Regel an Wendepunkten, in Zeiten, in denen völlig neue Erscheinungen entdeckt wurden, die ein Umdenken erforderlich machten und eine Revision gewohnter Vorstellungen verlangten. Davon, welche Antwort die Forscher für sich auf die Frage nach dem Platz der «seltsamen« Erscheinungen im System des Wissens fanden, welche Position sie selbst dazu einnahmen, hing unmittelbar die Wahl der weiteren Entwicklungswege der Wissenschaft, hingen die weltanschaulichen Folgerungen sowie die Bekräftigung der philosophischen Positionen - idealistischer oder materia–listischer -ab. Dabei kam es vor, daß ein Forscher in einer kritischen naturwissenschaftlichen Situation sich eines Problems gar nicht in seiner ganzen philosophischen Auswirkung bewußt war. Zur Lösung einer konkreten Aufgabe bediente er sich jedoch - und sei es spontan - einer bestimmten Methodologie und übte daher, ob er es wollte oder nicht, einen entsprechenden Einfluß auf den weiteren Gang der Untersuchungen aus.

Der Verfasser dieses Buches hat sich nicht die Aufgabe gestellt, ein konkretes wissenschaftliches Problem umfassend darzustellen oder eine konkrete wissenschaftliche Hypothese von ihrer Entstehung bis zu dem Zeitpunkt zu verfolgen, da sie allgemeine Anerkennung gefunden hat.

Das Buch hat ein anderes Ziel: Es sollen einige von der heutigen Naturwissenschaft untersuchte astrophysikalische und physikalische Erscheinungen behandelt werden. Dabei wollen wir eine Tendenz verfolgen, die darin besteht, daß die Welt der von der Wissenschaft ent–deckten natürlichen Prozesse immer ungewöhlicher wird, daß sie sich nicht nur von den Wissenschaft entdeckten natürlichen Prozesse immer ungewöhnlicher wird, daß sie sich nicht nur von den gewöhnlichen an–schaulichen Vorstellungen immer weiter entfernt, sondern oft auch völlig unerwartete Züge annimmt. Wir wollen diese Tendenz nicht nur mit unseren

* K. Marx, Das Kapital, 3. Bd. In: Marx/Engels, Werke, Bd. 25, S. 324

Augen verfolgen, sondern auch die Meinung von Wissenschaftlern hören, die unmittelbar am Erkenntnisprozeß beteiligt sind. Einige Seiten der modernen Astrophysik und der an sie angrenzenden Teile der Physik sollen unter dem Gesichtswinkel untersucht werden, daß die Welt zwangsläufig immer seltsamer wird.

Die Wissenschaft ist nicht nur die Gesamtheit der vorliegenden Kenntnisse, eine Art Museum, dessen Ausstellungsstücke die Informationen über die Gesetzmäßigkeiten natürlicher Prozesse sind. Vor allem ist Wissenschaft vielmehr die menschliche Tätigkeit zur Erweiterung und Vermehrung unseres Wissens.

Die Welt und ihre Gesetze existieren objektiv, unabhängig von uns. Der Mensch jedoch erkennt diese Gesetze, und dies im Einklang mit den praktischen Bedürfnissen der Gesellschaft. Die Welt ist unendlich vielfältig, ist unerschöpflich, und der Mensch wählt die Untersuchungsobjekte in Abhängigkeit vom jeweiligen Wissensstand wie auch von sozialen Ursachen aus, das heißt in Abhängigkeit von den Zielen, die von der Gesellschaft zu einem gegebenen Zeitpunkt gesetzt werden, sowie von den Möglichkeiten, sie in der Praxis zu erreichen.

In einem populärwissenschaftlichen Film über die Sonne fand ich einen interessanten und, wenn man es recht überlegt, tiefen Gedanken. Während sich die Kamera schnell von der Sonnenoberfläche entfernt und in die endlosen Weiten des Weltraums zur Erde hin schwenkt, sagt der Sprecher: »Wir haben uns nun 150 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt, und hier beginnt das, weshalb die Sonne unsere Aufmerksamkeit verdient: das Leben.« Und das gilt nicht nur für die Sonne, sondern auch für die anderen Sterne, für unser Milchstraßensystem und für andere kosmische Welten. Der Mensch und nur der Mensch erkennt die Welt, und das geschieht um des Menschen willen. Die Eigenschaften der Sterne und der Sternsysteme, die Gesetzmäßigkeiten des Baus der Galaxien und anderer kosmischer Objekte haben an sich keinerlei Wert. Ihren Wert erhalten sie erst dann, wenn der Mensch in Erscheinung tritt. Jede wissenschaftliche Idee erlangt nur im Denken und Handeln konkreter Menschen, in ihren Untersuchungen reale Existenz.

Der Verfasser war deshalb bestrebt, den Leser mit lebendigen Menschen, mit weltweit anerkannten Forschern und mit verhältnismäßig jungen Wissenschaftlern bekannt zu machen, mit ihrer Denkweise, mit ihren wissenschaftlichen Ansichten, mit ihrem individuellen Herangehen an den Erkenntnisprozeß sowie mit ihren Auffassungen zu aktuellen Problemen der Naturwissenschaft. Und der Titel des Buches - »Rätselhaftes Weltall« -

sollte nicht zu einem falschen Schluß verleiten. Gewiß wird die Rede sein von Sternen und Galaxien, von Elementarteilchen und elektromagnetischen Wellen, von Neutronensternen, Schwarzen Löchern und anderen erstaunlichen Erscheinungen. Im wesentlichen jedoch wird es handeln von denen, die diese Erscheinungen erforschen, von den oft genug höchst komplizierten Wegen, denen das forschende Denken des Menschen in dem Bestreben folgt, immer mehr natürliche Prozesse, die in der Tiefe und nicht an der Oberfläche liegen, zu erkennen und in den Dienst des Menschen zu stellen.

Vielleicht haben nicht alle Erscheinungen und die mit ihnen zu–sammenhängenden Probleme, von denen die Rede sein wird, dasselbe Gewicht und sind nicht gleichermaßen wesentlich für die weitere Entwicklung der Wissenschaft vom Weltall. Der Verfasser ist jedoch überzeugt davon, daß ihre Behandlung unter dem Gesichtswinkel der zwangsläufig immer seltsamer werdenden Welt astrophysikalischer und physikalischer Erscheinungen nützlich und lehrreich ist. Dabei zeigt sich die Dialektik des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses, wird die Überzeugung vermittelt, daß die uns umgebende Welt unerschöpflich ist, wird die Aufnahmebereitschaft für das Neue geweckt, zugleich aber auch einer nihilistischen Einstellung zu dem bereits gewonnenen Wissen vorgebeugt und vor voreiligen Zweifeln an den bestehenden wissenschaftlichen Theorien gewarnt. Es geht dabei, anders ausgedrückt, vor allem um die Erziehung zum Denken im Geist der materialistischen Dialektik.

Von Heraklit zu Einstein 1

Wie ist die Welt gebaut?

Wenn sich dieses Buch auch hauptsächlich mit der heutigen Entwicklungsetappe der Wissenschaft vom Weltall befaßt, ist es doch wohl zweckmäßig und nützlich, zunächst einen Blick in die Vergangenheit zu werfen und zu verfolgen, womit alles begonnen hat.
Die Zeiten sind kontinuierlich miteinander verbunden. Die Gegenwart entsteht nicht aus dem Nichts, sondern ergibt sich aus der Vergangenheit, die Zukunft ihrerseits aus der Gegenwart, so daß auch die Zukunft mit der Vergangenheit zusammenhängt. In vergangenen Ereignissen, in den Handlungen und Schlußfolgerungen der daran Beteiligten erschließen sich uns allgemeine Gesetzmäßigkeiten des menschlichen Erkenntnisprozesses, der Entwicklung der Wissenschaft, ohne die es schwer, wenn nicht un–möglich ist, das, was heute in der Wissenschaft vor sich geht, wirklich zu verstehen und richtig zu beurteilen oder gar einen Blick in die Zukunft zu werfen.

Die Geburt einer Idee

Das menschliche Leben ist zeitlich begrenzt, folglich auch die Erfahrung, die ein Mensch zu sammeln vermag. Jede Gesellschaft war deshalb bestrebt, als eine Art Ausgleich für diese Beschränkung ein globales, ein allumfassendes Weltmodell zu schaffen, zu dem das eigene tägliche Sein in Beziehung gesetzt werden und das dem Dasein und der Tätigkeit des Menschen einen höheren Sinn verleihen konnte. Um dieses Zieles willen versuchten die Menschen stets die Grenzen des unmittelbaren Wissens, das sie in ihrem tagtäglichen Leben erlangten, zu überschreiten.

Schon den griechischen Philosophen der Antike gelang es, eine wirkliche Grundlage für die wissenschaftliche Erkenntnis der Welt zu schaffen. In Griechenland sowie in seinen Kolonien in Kleinasien und Italien wurde im 6. und 5. Jahrhundert v. u. Z, das wissenschaftliche Denken geboren. Die Denker des antiken Griechenlands, bis zu denen die Wurzeln der modernen Naturwissenschaft zurückreichen, versuchten als erste, Vorstellungen von der Wahrheit und vom wahren Wissen zu entwickeln. Am Anfang dieser Lehre standen die Philosophen der Schule von Milet im 6. Jahrhundert v. u. Z.

Bei der weiteren Entwicklung dieser Vorstellungen gelangten die antiken Griechen zu dem Schluß, daß wahres Wissen das Wissen vom einheitlichen Wesen der Welt und nicht einfach die Kenntnis einer Vielzahl von Erscheinungen des Seins ist. »Die Natur verbirgt gern«, erklärte Heraklit und meinte, zur Erkenntnis der »verborgenen Harmonie« bedürfe es großer Anstrengungen.

Als geniale Vermutung wird hier in keimhafter Form ein Gedanke geäußert, den Nicolaus Copernicus viele Jahrhunderte später entwickelte: Es ist notwendig, nach dem wahren Wesen der Erscheinungen zu suchen, das sich hinter ihrem Äußeren verbirgt. Dieser kühne Gedanke war schon vor Copernicus von Zeit zu Zeit aufgeblitzt und hatte den Weg der Erkenntnis erleuchtet. Viele Einzelheiten dieses Prozesses haben sich freilich in den Jahrhunderten verloren, so daß wir nicht wirklich genau wissen, vorüber die hervorragenden Denker der Vergangenheit, die Wege ins Unbekannte bahnten, nachsannen. Vieles können wir natürlich aus ihren wissen–schaftlichen Werken erfahren, aber eine sehr wichtige Frage bleibt offen: Warum gelang gerade ihnen der nächste Schritt bei der Erkennung der Welt? Auf welchen Wegen kamen sie zu ihren Entdeckungen? Nicht zufällig war Johannes Kepler - auch von ihm wird die Rede sein - der Ansicht, daß die Wege, auf denen die Menschen die Kenntnisse über die Himmelserscheinungen erwarben, nicht weniger bewundernswert sind als die Entdeckungen selbst.

Wo das bloße Tatsachenmaterial nicht ausreicht, kommt die literarische Schilderung als Methode zu Hilfe. Diese kann nicht auf ein gewisses Maß an künstlerischer Erfindung verzichten, auf Erfindungen, die jedoch auf den realen Umständen des Lebens und der Tätigkeit der betreffenden Menschen fußen müssen und daher volle Daseinsberechtigung haben. Das verhilft zu einer besseren Vorstellung von der Persönlichkeit des Wissenschaftlers, zum tieferen Verständnis der Besonderheiten seiner Forschungstätigkeit.

Die Kapitel über die Entdeckungen großer Denker der Vergangenheit - al-Biruni, Copernicus, Bruno und Kepler - sind daher in ihrer Form etwas literarischer gestaltet als die folgenden Kapitel, die sich mit heutigen Ereignissen in der Wissenschaft vom Weltall befassen.

Jahrhunderte später

Einer der großen Denker, die Stein für Stein das Fundament der modernen Wissenschaft legten, war im 11. Jahrhundert der bedeutende mittelasiatische Gelehrte Abu Raihan al-Biruni. Ein Mensch aus dem einfachen Volk, von inneren Widersprüchen gequält und von zahlreichen Feinden umgeben, erreichte Biruni allen Widerwärtigkeiten des Lebens zum Trotz mit seinem durchdringenden Verstand und seinen hervorragenden Fähigkeiten im alten Feudalstaat Choresm eine geachtete Stellung und wurde zu einem Anziehungspunkt für viele bedeutende Denker jener Zeit. Im Gedankenaustausch, im orientalisch geruhsamen Gespräch, aber auch beim Aufeinanderprallen der Meinungen wurden erstaunliche Hypothesen über Bau und Ordnung der Welt geboren. Abu Ali Ibn Sina, der große Avicenna, Gelehrter und Arzt, der »Weiseste der Weisen«, meinte im Gespräch mit Biruni:

»Gestern, Abu Raihan, hast du behauptet, daß alle Körper zur Erde streben. Das stimmt aber gar nicht für alle Körper, denn zum Beispiel die Flamme und der Rauch steigen nach oben.« »Vertraue nicht so schnell deinen Augen, sondern versuche das zu ergründen, was den Augen verborgen bleibt und nur dem Verstand zugänglich ist. Die Erscheinung, von der du sprichst, wird durch die Bewegung warmer und kalter Luftschichten hervorgerufen. Wenn die oberen Luftschichten die gleiche Temperatur hätten wie die unteren, würden Flamme und Rauch nicht emporsteigen. Es ist schon so: Alle Körper streben dem Mittelpunkt der Erde zu.« »Und dennoch…«, warf Avicenna eigensinnig ein. »Ich weiß schon, was du sagen willst, Abu Ali«, kam ihm Biruni leicht gereizt zuvor. »Du suchst den Unterschied zwischen dem Stein, der auf die Erde fällt, und dem Rauch, der zum Himmel steigt. Die Welt teilst du in zwei Sphären: die irdische und die himmlische. So wie Aristoteles. Er täuschte sich jedoch: Im Himmel folgen die Erscheinungen denselben Gesetzen wie auf der Erde. Und dort oben, im

Weltall, kann es noch eine Vielzahl von Welten mit ebensolchen Eigenschaften wie unsere irdische Welt geben.«

Das Schicksal wollte es, daß dieses Gespräch erst viele Jahre später fortgesetzt werden konnte. Um sich den Verfolgungen durch den Emir zu entziehen, war Ibn Sina gezwungen, aus Choresm zu fliehen. Und dennoch trafen sie sich wieder. An einem dunklen, unfreundlichen Abend tauchte Ibn Sina, die Gefahr mißachtend, im Haus seines Freundes auf, der sich zu dieser Zeit in Ghasna aufhielt.

»Ibn Sina, mein Lieber, du hier?« rief Biruni überrascht, aber zugleich beunruhigt. »Wie unvernünftig!«

»Ich komme, unser Gespräch wiederaufzunehmen, das wir vor fünfzehn Jahren unterbrochen haben«, sagte Ibn Sina lächelnd, als sei nichts geschehen. »Du hast mir damals erklärt, daß…«

»Aber du bist in Gefahr. Der Sultan…«

«Was kümmert mich der Sultan, wenn sich vor uns die unendliche Welt der Natur eröffnet. Unser Leben aber ist nicht unendlich, und deshalb laß uns fortfahren. Du sagtest, den Himmel lenken die gleichen Gesetze wie die Erde. Ich habe die ganze Zeit über deine Worte nachgedacht. Mir ist klargeworden, daß es die höchste Bestimmung des Menschen ist, die unermeßliche Welt zu erfassen und als Einheit zu sehen. Aber nimm die Sonne, ähnelt sie etwa der Erde?«

»Sonne und Planeten bilden eine Einheit«, antwortete Biruni. »Die Sonne besteht aus Feuer, und die Planeten umgeben sie und erhalten von ihr Licht.«

Ibn Sina blickte seinen Freund aufmerksam an. Über sein hageres Gesicht huschte ein leichter Schatten.

»Sie umgeben die Sonne? Dann ist die Erde nicht der Mittelpunkt des Weltalls? Alle großen Geister, Ptolemäus, Euklid, also nicht nur ich, sind überzeugt, daß die Erde der Mittelpunkt von allem ist. Gilt das nicht als Axiom?«

»Nein, lieber Freund. Daß die Erde unbeweglich ist, scheint uns nur so. In Wirklichkeit bewegt sie sich. Das ist heute nur schwer zu verstehen, aber die Zeit wird kommen… Durch Beobachtung der Sterne habe ich sogar die Geschwindigkeit berechnet, mit der die Erde sich bewegt.«

»Hast du das schon aufgeschrieben?« erkundigte sich Ibn Sina lebhaft. «Gib es mir zu lesen!«

»Aber gern! Hier hast du meine Aufzeichnungen. Ich möchte dir jedoch jetzt gleich noch etwas außergewöhnlich Wichtiges sagen, was du nicht in den Büchern der Weisen des Altertums, nicht bei Aristoteles und nicht bei Platon,

finden wirst. Auch sie sind nicht auf den Gedanken gekommen, daß die Natur selbst alles erschafft und alles lenkt, was vor sich geht. Die Natur, die Materie, bringt aus sich selbst die verschiedenen Dinge hervor. Alles wandelt und entwickelt sich selbst. Die Materie selbst bindet und ändert die Form der Dinge.«

Die Revolution des Copernicus

Das war eine Epoche, die von den Historikern zu Recht den Namen »Renaissance«, das heißt »Wiedergeburt«, erhalten hat, eine Epoche, die, wie es Friedrich Engels ausgedrückt hat, «Riesen brauchte und Riesen zeugte, Riesen an Denkkraft, Leidenschaft und Charakter, an Vielseitigkeit und Gelehrsamkeit«*. Die Erforschung der Natur stand im Zeichen einer allgemeinen Umwälzung.

Nachdem der junge Nicolaus Copernicus sein Studium an der Universität zu Padua abgeschlossen hatte, kehrte er 1506 in seine polnische Heimat zurück, wo er sich für lange Zeit im Schloß Lidzbark niederließ. Hier lebte sein Onkel Lukas Watzenrode, Bischof von Ermland, dem Copernicus die Möglichkeit zum Studium sowie ein kirchliches Amt verdankte, das ihm nun seinen Lebensunterhalt sicherte.

Eines Abends saßen Bischof Lukas und Nicolaus Copernicus im Halbdunkel der Bibliothek. Durch die schmalen Spitzbogenfenster fielen die ersten silbrigen Strahlen des Mondes. Copernicus begann von dem zu sprechen, was ihn am stärksten beschäftigte, von der Astronomie.

«Tritt ans Fenster, Onkel, und schau hinaus! Dort über dem Hügel neben dem hellen Stern steht der unheilverkündende rote Mars. Wenn du in einer Woche oder einem Monat wieder zu dem hellen Stern über dem Hügel blickst, wird der Mars weiter links stehen. Er geht zwar jede Nacht mit den Sternen auf und unter, verändert aber seine Stellung zu ihnen. Und das geschieht, weil der Mars seine besondere, eigene Bahn hat, ebenso wie der Jupiter und die strahlende Venus. Aber wie seltsam sind ihre Wege!« In den Anblick des unergründlich tiefen Nachthimmels versunken, verstummte Copernicus. Der Bischof wartete schweigend, bis Copernicus nachdenklich fortfuhr: »Wirklich, seltsam sind ihre Wege. An jedem klaren Abend beob-

« Friedrich Engels, Dialektik der Natur. In. Marx/Engels, Werke, Bd. 20, S. 312

achte ich sie und ihre Stellung inmitten der Sterne. Sie änderte sich während des ganzen Jahres. In Gedanken zeichne ich die Wege der Planeten an den Himmel, und es ergeben sich merkwürdige Schleifen. So wandert zum Beispiel ein Planet nach Osten, macht halt, wendet sich zurück, beschreibt eine komplizierte Linie und bewegt sich erneut nach Osten. Aber entschuldige, ich habe mich hinreißen lassen und ganz vergessen, daß du das alles selbst genau weißt.«
Der Bischof blickte seinen Neffen besorgt an.
»Was ist es nun eigentlich, was dich so stark bewegt? Du sprichst doch tatsächlich von wohlbekannten Dingen.«
»Ja, wirklich, Ptolemäus war ein weiser Mann. Aber sind seine Erklärungen nicht zu kompliziert? Wie kommt es, daß sich der Mond einfach auf einer Kreisbahn um die Erde bewegt, während die Planeten unverständliche Schleifen beschreiben? Du wirst sagen: Ptolemäus erklärte das mit einem komplizierten System von Himmelssphären, Deferenten und Epizykeln. Wie aber können diese Sphären derart schnell in vierundzwanzig Stunden die Erde umkreisen? Ich weiß es nicht. Mitunter machen mich seltsame Gedanken betroffen, die mir keine Ruhe lassen. Ist wirklich alles so, wie wir es sehen?«
In den tiefliegenden Augen des Bischofs schimmerte etwas wie Angst.
»Wie kannst du so etwas sagen! Hast du vielleicht schon einmal solch ein Bild gesehen: ein Platz voller Menschen, Mönche in schwarzen Kutten mit Kapuzen, auf einem Scheiterhaufen ein Pfahl mit Ketten, eine brennende Fackel in der Hand des Henkers, der Widerschein des Feuers und schließlich Schweigen, schreckliches Schweigen. Das also wird aus Leuten, die an der Größe Gottes, an den Lehren der heiligen Kirche zweifeln!«
»Verbrannt werden Ketzer«, erwiderte Copernicus ruhig. «Ich aber denke nur an die Mathematik, an die Berechnungen und Konstruktionen des Ptolemäus und daran, was sich hinter den geheimnisvollen Schleifen–bewegungen der Planeten verbirgt.« Prüfend blickte der Bischof auf seinen Neffen.
»Du sagst mir nicht alles. Ich sehe…«
Statt zu antworten, holte Copernicus einige vollgeschriebene Blätter hervor.
»Ein kleiner Kommentar des Nicolaus Copernicus zu seinen Hypothesen über die Himmelsbewegungen. Sieben Axiome. Das erste: Es gibt keinen einheitlichen Mittelpunkt für alle Himmelskreise oder - Sphären.«
»Aber das bedeutet doch«, rief der Bischof, «daß Himmelskörper sich nicht nur um die Erde bewegen können, wie es Ptolemäus lehrt, sondern auch um andere Gestirne!«

»Erinnere dich bitte, Onkel: Wenn man mit einem Schiff aufs Meer hinausfährt, scheint das Schiff unbeweglich zu sein, und die Küste scheint sich zu entfernen. Ich schreibe hier: Jede von einem Beobachter wahrgenommene Veränderung der Stellung eines Gegenstandes ist das Ergebnis einer Bewegung dieses Gegenstandes oder einer Bewegung des Beobachters oder auch einer Bewegung des einen und des anderen. Ich sehe hinter der Schleifenbewegung der Planeten ein anderes, das wahre, harmo–nische Bild. Hör zu: Der Mittelpunkt der Erde ist nicht der Mittelpunkt des Weltalls, sondern nur Gravitationszentrum und Mittelpunkt der Mondbahn. Alle Sphären drehen sich um die Sonne als ihr Zentrum, und folglich ist die Sonne der Mittelpunkt des Weltalls.«

»Die Sonne?« vergewisserte sich der Bischof stark erregt. »Die Sonne und nicht die Erde? Aber die Heilige Schrift lehrt etwas anderes.«

Copernicus senkte den Kopf: Er wollte jetzt nicht dem Blick des Bischofs begegnen.

»Ich versuche nur zu begreifen, wie das alles in Wirklichkeit ist«, sagte er leise.

Er war nicht bereit zum offenen Kampf gegen die Heilige Schrift und wollte die Grenzen der Mathematik und Geometrie nicht überschreiten. Diese künstlichen Schranken engten jedoch seinen kühnen Gedanken ein, der nach außen, in die Realität der Welt drängte. Das spürte der alte Bischof.

»Ist das nicht doch Ketzerei, mein Sohn?« fragte er voller Sorge. »Seit dreizehn Jahrhunderten werden die Berechnungen des Ptolemäus benutzt. Niemand hat sie angezweifelt. Gott erwählte Ptolemäus, den Menschen aus seinem Munde die große Wahrheit über den Bau der Welt zu verkünden. Die Berechnungen des Ptolemäus sind gottgefällig und von der Kirche gesegnet… Warum schweigst du?«

»Ich kann nichts dazu sagen. Aber die Welt ist so gebaut. Das ist meine Überzeugung.«

Ein »kleiner Kommentar«: auf zehn Seiten sieben Axiome, nicht mehr. Aber sie änderten die herkömmlichen Vorstellungen von Grund auf. Fast vierhundert Jahre später brauchte Albert Einstein für seine allgemeine Relativitätstheorie gleichfalls nur einige wenige Seiten. Große Gedanken sind oft lakonisch und bedürfen keiner ausführlichen Darlegung. Ihre Folgen aber sind unüberschaubar.

Es war für Copernicus nicht leicht, das zu vollenden, was er begonnen hatte. Von Tag zu Tag, mit jeder neuen Seite, die er vollschrieb, wurde ihm klarer, wogegen er seine Hand erhob. Die römisch - katholische Kirche verfolgte ihn zwar nicht direkt, aber er spürte ihren stets wachen Blick. Lukas Watzen–

rode, sein Halt und seine Stütze, starb. Das Gerücht ging um, er sei vergiftet worden. Vielleicht eine Warnung für ihn, Copernicus? In seinem berühmten Buch »Über die Umdrehungen der himmlischen Kreise« schrieb er später:
»Aus meinen Beobachtungen und Berechnungen folgt unwiderlegbar, daß nur die Sonne das Zentrum unseres Systems sein kann. Und ich lasse alle Zweifel fallen: Je unsinniger meine Lehre jetzt vielen erscheinen mag, desto mehr Dank wird sie erhalten, wenn das Dunkel durch klarste Beweise zerstreut sein wird.«

An die Stelle des Prinzips »Die Welt ist so gebaut, Wie wir sie sehen« trat mit der Lehre des Copernicus ein neues Prinzip: »Die Welt ist nicht so, wie wir sie unmittelbar wahrnehmen; wir müssen nach dem wahren Wesen der Erscheinungen suchen, das hinter ihrem äußeren Bild verborgen ist!«

Copernicus leitete mit seiner Lehre eine Umwälzung der unerschütterlich und selbstverständlich erscheinenden gewohnten Vorstellungen vom Weltall ein. Diese Vorstellungen wurden von der mittelalterlichen Kirche nicht nur gesegnet, sondern auch mit ihrer ganzen Macht und ihrer unantastbaren Autorität unterstützt, die blinden und vorbehaltlosen Glauben an ausnahmslos alle Dogmen, an jedes Wort forderte, das in der Heiligen Schrift aufgezeichnet war. Jeder Zweifel galt als Todsünde und wurde grausam bestraft. Das geozentrische Weltbild gehörte zum Fundament der religiösen Weltanschauung. Sein Zusammenbruch mußte unausweichlich Unglauben auch an andere Religionsdogmen nach sich ziehen. Das hat dann auch die nachfolgende Geschichte bewiesen.
Das Prinzip, das zur Entstehung des heliozentrischen Weltbildes führte, wurde zu einer methodologischer Grundlage der modernen Naturwissenschaft, zu einer starken Kraft, die den Forscher zur beharrlichen Suche nach den geheimen Triebfedern der Prozesse und nach neuen Gesetzmäßigkeiten, zum Vordringen ins Unbekannte bewegt.

Der ungestüme Nolaner

Während Philosophen des antiken Griechenlands und später Biruni Vorläufer des Copernicus waren, führte Giordano Bruno, einer der großen Denker des Mittelalters, seinen Gedanken weiter und tat den nächsten Schritt.

Der Nolaner, wie Giordano Bruno, geboren 1548 in Nola, sich selbst nannte, hatte die Mönchskutte abgelegt und sich der römischen Inquisition, deren Blicken nichts verborgen blieb, durch die Flucht aus Italien entzogen. Er ging von einem Land ins andere und war nicht nur ein glühender Verfechter der Lehre des Copernicus, sondern entwickelte ihren Grund–gedanken mit genialem Scharfsinn weiter.

Das verborgene Wesen der Dinge! Was steht hinter diesen Worten: eine höhere, göttliche Kraft, wie die Kirche behauptete, oder etwas anderes?

In der berühmten Universität von Toulouse findet wieder einmal ein philosophischer Disput statt. Das große Auditorium ist zum Bersten gefüllt.

Auf der einen Seite ehrwürdige, hochmütige Professoren, überzeugt von ihrer unfehlbaren Gelehrsamkeit und gestützt auf ihre Dogmen. Auf der anderen Seite ein ärmlich gekleideter junger Mann mit glühenden schwarzen Augen.

»Wir werden heute über das Unermeßliche und das Unzählige, über das Größte und Kleinste sprechen. Ein Weiser der Antike, Aristoteles, ein großer Mann der Wissenschaft, hat alles Seiende mit dem allumfassenden Begriff »Materie« benannt. Diese ist in Bewegung, aber was ist die Ursache dafür? Was, vielleicht auch wer hat alles, was uns umgibt, gezwungen, sich zu bewegen und zu wandeln? Was hat unsere Erde gezwungen, sich um die Sonne zu bewegen? Aristoteles sah diese Ursache, von seiner reichen Phantasie geleitet, in einer geheimnisvollen äußeren Kraft. Ich kenne jedoch keinen anderen Philosophen, der so weit von der wahren Natur entfernt ist wie Aristoteles. Das Größte, also das Weltall, besteht aus dem Kleinsten, aus Atomen. Und das eben ist die Materie. Sie bedarf zu ihrer Bewegung keiner geheimnisvollen äußeren Kraft. Sie schöpft diese Bewegung aus sich selbst, nur aus sich selbst. So erkennt das Denken, von hinfälligen Dogmen befreit und vom Studium der Natur befruchtet, die Wahrheit über die Natur.«

»Ihr habt gesagt, die Welt habe keine Grenzen«, wirft einer der Professoren ein. »Und wie ist es mit dem Himmelsgewölbe, das unser Blick nicht durchdringt?«

»Euer Blick!«
Ein anderer stellt eine weitere Frage:
»Ihr behauptet, wir könnten die Natur mittels unserer Sinnes Wahrneh–mungen erkennen. Was aber können Euch Eure Wahrnehmungen über die Grenzen der Welt sagen? Doch nur, daß sie vorhanden sind. Blickt empor zum «Himmel« und Ihr seht die Sphäre der unbeweglichen Sterne, mit der der Schöpfer unseren Blick begrenzt hat.«
»Das besagt nur, daß unsere Sinne, daß unser Sehvermögen unvollkommen ist.«
»Wie können wir uns jedoch ein Urteil über das bilden, was der Herr uns zu erblicken verwehrt?«
»Die Wahrheit kann jenseits der Grenzen liegen, die unseren Blicken gesetzt sind. Aber wir haben den Verstand. Der große Copernicus hat für uns die Wahrheit über die Erde und die Sonne entdeckt. Und ich blicke noch weiter und sage: Jeder Stern ist eine riesige Sonne, um die sich wie Sandkörnchen Planeten drehen, so wie sich die Erde als Sandkörnchen um unsere Sonne dreht. Das Weltall hat keine Grenzen, es ist unendlich. Unsere Sonne ist nichts Besseres als die anderen Sterne, und wir haben keinen Grund, anzunehmen, daß sich unsere Sonne mit ihren Planeten im Mittelpunkt des Weltalls befindet.«
»Ihr kehrt die Welt von unten nach oben!« ruft ein Opponent empört dazwischen.
»Ist es denn schlecht, eine verkehrte Welt umzudrehen?« pariert Bruno.
»Wenn es so ist, wie Ihr sagt, wo steht dann der Thron des Herrn?« wird heimtückisch langsam gefragt. »Vielleicht befindet er sich jenseits dessen, was Ihr Materie nennt?«
»Die Materie ist überall und hat keine Grenzen.«
«Aber in diesem Fall behauptet Ihr, der HERR sei nichts -schrecklich zu denken! Ja oder nein?«
Langsam läßt Giordano Bruno seinen Blick über die still gewordene Zuhörerschaft gleiten. Er ist sich völlig klar darüber, was hier gespielt wird. Obwohl er noch nicht lange in Toulouse ist, genießt er bei den Studenten große Beliebtheit und ist zu ihrem Abgott geworden. Das aber gefällt den Professoren - allesamt Dogmatiker — gar nicht, und sie fürchten ihn.
»Ja oder nein?« wird noch einmal gefragt.
»Ich weiß, warum Ihr mir diese Frage stellt. Und ich weiß auch, wie gefährlich die Antwort für mich ist.«
Noch einmal blickt Bruno um sich. Hier sind nicht nur »Ehrwürdige« anwesend, sondern auch Studenten, junge Menschen. Er darf nicht zurückweichen.

»Also gut, ich antworte«, fährt er entschlossen fort. »Auch wenn ich diese Lehrstätte werde verlassen müssen - die Wahrheit steht für mich am höchsten. Alle, die sich hier versammelt haben, sollen wissen: Um alles zu erklären, genügt einem Gelehrten die allumfassende Materie. Und wenn Ihr nicht ohne IHN leben könnt, wenn Ihr so .daran gewöhnt seid, dann könnt Ihr Gott als die Natur selbst ansehen.«

In der Sprache der Mathematik

Johannes Kepler, im Jahre 1600 von Tycho Brahe, dem berühmten Astronomen und Mathematiker, nach Prag gerufen, stützte sich bei seinen Berechnungen der Planetenbahnen auf die von Brahe aufgestellten Tabellen. Er versuchte, zunächst für den Mars entsprechend den idealen Bahnen des Copernicus eine Kreisbahn zu konstruieren. Als ihm das nicht gelang, suchte er nach einer kreisförmigen Bahn mit einer nicht im Mittelpunkt stehenden Sonne. Aber auch das brachte keinen Erfolg. Daraufhin ging Kepler zu einer elliptischen Bahn mit der Sonne im Mittelpunkt über. Erneut stellten sich jedoch Differenzen mit den Beobachtungen ein. Erst nach allen diesen Varianten begriff Kepler plötzlich, wie es sich in Wirklichkeit verhielt. Tatsächlich: Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, aber die Sonne steht nicht im Mittelpunkt, sondern in einem der zwei Brennpunkte. Das war die Lösung!

Damit war ein neues Gesetz entdeckt, ein weiterer Schritt auf dem Weg zur Erkenntnis der »seltsamen Welt« getan. Zugleich bewiesen Keplers Arbeiten, daß diese Welt bei ihrer ganzen Seltsamkeit nicht nur bestimmten Gesetzen unterworfen ist, sondern daß diese sich auch exakt mathematisch ausdrücken lassen.

Zudem wurde klar - und das war besonders wichtig -, daß das wahre Bild der Erscheinungen nicht nur von den gewöhnlichen anschaulichen Vorstellungen, sondern auch von den zum gegebenen Zeitpunkt herrschenden wissenschaftlichen Auffassungen abweichen kann.

Die Ursache dafür blieb noch im dunkeln, und es bedurfte mehrerer Jahrhunderte, bis die Naturwissenschaft von einer neuen Explosion erschüttert wurde, die vieles zerstörte und vieles aufhellte.

Der Einfall in die »seltsame Welt«

Die Explosion, von der hier die Rede sein soll, ereignete sich an der Wende des 19. und 20. Jahrhunderts. Sie ereignete sich nicht zufällig, sondern war von der gesamten vorausgegangenen Entwicklung der Wissenschaft, vor allem der Physik, vorbereitet worden.

Die Physik hatte bis Ende des 19. Jahrhunderts alles akkurat dargelegt. Die Grundlagen dieser zu Recht als klassisch bezeichneten Physik waren von Galileo Galilei und Isaac Newton geschaffen worden. Drei Bewegungs–gesetze und das allgemeingültige Gravitationsgesetz schienen alles zu erklären. Sie legten nicht nur die inneren Triebfedern der einen oder anderen Erscheinungen frei, sondern mit ihnen ließ sich auch das künftige Verhalten von Objekten vorhersagen. Man mußte dazu nur die Ausgangsbedingungen kennen: den Ort und die Geschwindigkeit der entsprechenden materiellen Punkte. Nach bestimmten Formeln konnte dann die Bewegung beliebig weit vorausberechnet werden. Die Erfolge der Himmelsmechanik, die genaue Vorausberechnung der Sonnen- und Mondfinsternisse, die Entdeckung des Planeten Neptun, die leichte, schnelle und völlig einleuchtende Erklärung, die die Mechanik so manchen bis dahin unverständlichen Erscheinungen gab - das alles machte auf die Zeitgenossen einen überwältigenden Eindruck. Es schien, als sei der Mechanik alles Untertan: die in dichten Medien auftretenden Erscheinungen, Deformationen, die Ausbreitung von elastischen Schwingungen in Festkörpern und sogar die Wärmevorgänge.

Keine unwichtige Rolle bei diesem Triumphzug der Mechanik spielte auch der Umstand, daß die mechanische Bewegungsform die einfachste und anschaulichste Bewegung ist, auf die jedermann buchstäblich bei jedem Schritt stößt. Unser tagtägliches Leben verläuft in der Welt der klassischen Physik. Ihre Lehrsätze waren daher nahezu jedem vertraut und durchaus verständlich. Die Wissenschaft von der mechanischen Bewegung schien allmächtig zu sein. Es tauchten alle möglichen mechanistischen Theorien auf, sogar eine mechanische Theorie des Lebens. Isaac Newton selbst, der Schöpfer der klassischen Mechanik, entwickelte eine mechanische Korpuskulartheorie des Lichts.

Der letzte Punkt schien gesetzt, die endgültige Erkenntnis der Welt erreicht zu sein. Philipp von Jolly, ein Lehrer Max Plancks, des künftigen Vaters der Quantenphysik, schrieb in jenen Jahren: »Natürlich wird man in dem einen

oder anderen Winkel noch ein Staubkörnchen auffinden oder entfernen können, aber das System als Ganzes steht fest, und die theoretische Physik nähert sich deutlich dem Vollkommenheitsgrad, den die Geometrie seit Jahrhunderten hat.«

So wurde alles auf die Bewegung von Teilchen, ja von Materiepunkten im Geist der antiken Atomistik zurückgeführt. Der ganze Reichtum der Erscheinungen, die unendliche Vielfalt der Welt stellte sich nur als Ergebnis von Unterschieden in der Bewegung der Teilchen dar.

Im Grunde war das eine Rückkehr zu dem Prinzip »Die Welt ist so, wie wir sie sehen«, zwar nicht mit eigenen Augen, aber von einem einzigen Standpunkt aus: durch das Prisma der mechanischen Bewegung. In dem so entstehenden Bild traten alle in der Welt stattfindenden Ereignisse als geschlossene Reihen von Ursachen und Folgen auf, die «eisern« miteinander verbunden sein sollten: Alles war vorherbestimmt oder, wie die Philosophen sagen, determiniert. Das aber war nichts anderes als die Abkehr vom Gedanken einer »seltsamen Welt«.

Natürlich konnte es nicht zum Erfolg führen, wenn eine Bewegungsform - und mochte sie auch so verbreitet sein wie die mechanische - verabsolutiert wurde. Aber das wird eben erst mit unserem heutigen Wissen deutlich, und zu Zeiten des Triumphzuges der klassischen Physik sah alles ganz anders aus. Das erste Signal dafür, daß etwas nicht stimmte, ertönte, als James Maxwell einen neuen Typ von Naturgesetzen, die Gesetze des elektro–magnetischen Feldes, entdeckte. Es stellte sich heraus, daß die elektromagnetischen Erscheinungen einerseits nicht auf mechanische Prozesse im »Weltäther« und andererseits mechanische Wechselwirkungen nicht auf elektromagnetische zurückführbar sind. Weder die Gleichungen der Teilchenbewegung noch das Gravitationsgesetz lassen sich aus der Theorie des elektronischen Feldes ableiten.

Das war allerdings, erneut vom heutigen Standpunkt aus gesehen, bei weitem nicht die einzige schwache Stelle. Es gab noch andere Probleme, denen die klassische Physik nicht gewachsen war. Das erste war das negative Ergebnis des berühmten Versuchs, Albert Michelsons, mit dem die Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Erdbewegung bewiesen werden sollte. Das zweite Problem waren die erfolglosen Versuche, das Strahlungsspektrum eines schwarzen Körpers im Rahmen der klassischen Physik zu beschreiben. Dieser zweite Mißerfolg erhielt sogar die effektvolle Bezeichnung »Ultraviolettkatastrophe«. So verblaßte die Aureole der klassischen Physik erheblich. Die »große Mechanik« wirkte schon nicht mehr so allmächtig wie früher.

Das aber waren nur die ersten Windstöße, denen ein Sturm von beispielloser Stärke folgen sollte. In der Naturwissenschaft begann eine grandiose Revolution, als deren Folge das Weltbild eine erneute grundlegende Revision erfuhr und die nahezu ausnahmslos alle fundamentalen Vorstellungen vom Weltall berührte.

Schon im 19. Jahrhundert war man zu dem Schluß gekommen, daß alle chemischen Elemente aus Atomen bestehen, aber über die Atome selbst war faktisch nichts bekannt. Dann wurde das Elektron entdeckt und festgestellt, daß die Elektronen als negativ geladene Teilchen am Bau der Atome beteiligt sind. Der englische Physiker Joseph J. Thomson entwickelte daraufhin 1898 ein Atommodell: eine positiv geladene »Substanz«, in der die negativ geladenen Elektronen schweben.

Das Thomsonsche Atommodell schien in der ersten Zeit sehr wahrscheinlich zu sein, bis es dann 1911 von dem großen englischen Physiker Ernest Rutherford widerlegt wurde. Seine Untersuchungen galten der radioaktiven Strahlung, also der Erscheinung, daß die Atome mancher chemischen Elemente spontan zerfallen. Rutherford befaßte sich mit den Alphateilchen, damals noch rätselhaften Objekten, die beim radioaktiven Zerfall ausge–strahlt werden. Er leitete einen Strom dieser Teilchen durch eine Metallfolie und beobachtete, wie sie auf einem fluoreszierenden Schirm auftrafen. Er wollte damit klären, ob die Alphateilchen beim Passieren der Metallfolie von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden.

Nach einer Serie von Versuchen, deren Ergebnisse voll mit den , auf dem Thomsonschen Atommodell beruhenden Berechnungen übereinstimmten, kam Rutherford überraschend zu einer frappierenden Beobachtung: Von 1000 Teilchen wichen etwa zwei in einem Winkel von mehr als 90 Grad ab, wurden also von der Folie in entgegengesetzte Richtungen reflektiert.

»Das ist ebenso unwahrscheinlich«, sagte Rutherford zu seinen Schülern, »wie wenn Sie mit einer Kanone auf ein Blatt Zigarettenpapier schössen, die Kugel jedoch zurückspringen und Sie treffen würde.«

Rutherford stellte sorgfältigste Berechnungen an und kam zu dem Schluß, daß die Alphateilchen von einem sehr starken elektromagnetischen Feld abgestoßen werden. Ein derart starkes Feld kann jedoch nur von einer auf kleinstem Raum konzentrierten Ladung erzeugt werden. Das widersprach dem Thomsonschen Atommodell, stimmte aber eben mit den Tatsachen überein. Folglich war das Atom nicht so gebaut, wie Thomson annahm, sondern hatte einen positiv geladenen Kern. Das war eine der größten Entdeckungen, die jemals in der Physik gemacht worden sind.

Das erste Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts brachte in der Physik eine ganze

Serie weiterer fundamentaler Entdeckungen, die nicht nur die klassischen Vorstellungen vom Bau der Materie veränderten, sondern auch zu einem Wandel in der Betrachtungsweise der Naturerscheinungen führten.
Bei dem Versuch, die Ergebnisse gewisser physikalischer Vorgänge, die sich nicht in die klassische Physik einfügten, zu deuten, kam der bedeutende deutsche Physiker Max Planck im Jahr 1900 zu der vom Standpunkt dieser Physik aus ungeheuerlichen Annahme, daß die Energie von den Teilchen nicht kontinuierlich, sondern in »Portionen«, in Quanten, abgegeben und aufgenommen wird.
So wurde das Fundament für .eine der wichtigsten physikalischen Theorien, die Quantenmechanik, geschaffen, die den Menschen rasch in eine Welt ganz außergewöhnlicher Erscheinungen führte.
Eine davon war der Welle-Teilchen-Dualismus. In der klassischen Physik war ein Teilchen ein Teilchen, eine Welle eine Welle. Anders konnte es ja auch gar nicht sein, wie der »gesunde Menschenverstand« folgerte. Die Wirklichkeit aber erwies sich als anders: Ein Teilchen ist zugleich Korpuskel und Welle. Unter manchen Bedingungen machen sich seine Wellen-, unter anderen die korpuskularen Eigenschaften geltend. Noch erstaunlicher ist das von Werner Heisenberg formulierte Unbestimmtheitsprinzip. Bei einem sich bewegenden Flugzeug oder Kraftwagen können wir jederzeit Geschwindigkeit und Ort im Raum mit beliebiger Genauigkeit messen. Wenn es sich jedoch um ein Elementarteilchen, etwa ein Elektron, handelt, erweist es sich als prinzipiell unmöglich, seine Geschwindigkeit und seinen Ort gleichzeitig genau zu messen. Je genauer wir seine Geschwindigkeit messen, desto unbestimmter wird sein Ort und umgekehrt.
Demnach kann die Physik der Mikrowelt keine absolut exakten Angaben über das zukünftige Verhalten eines Mikroteilchens machen. Beispielsweise ist es prinzipiell unmöglich, das zukünftige Verhalten eines Elektrons so absolut genau zu berechnen wie etwa den Flug einer Artilleriegranate. Berechnen läßt sich nur die Wahrscheinlichkeit des einen oder anderen Verhaltens. Das Elektron kann auf einer unendlich großen Zahl von Bahnen von einem Punkt zu einem anderen gelangen. Einen physikalischen Sinn hat daher nur die Gesamtheit seiner Bahnen. Die quantenmechanische Beschreibung von Erscheinungen der Mikrowelt hat demzufolge statistischen Charakter. Diese Erkenntnisse bewirkten, daß im neuen Weltbild an die Stelle der einfachen mechanischen Kausalität die kompliziertere Wahrscheinlichkeitskausalität trat.
So wurde eine Erscheinung entdeckt, die unter dem Gesichtswinkel der noch kurz zuvor allgemein anerkannten Vorstellungen geradezu absurd,

aber dennoch völlig real war. Die Quantenmechanik legte ihren Finger übrigens noch auf eine weitere wunde Stelle ihrer klassischen Vorgängerin. Um das zu erklären, richten wir unseren Blick noch einmal aus der Höhe unseres heutigen Wissens auf die Physik des 19. Jahrhunderts. Pierre Laplace, einer der bedeutendsten Vertreter der »mechanischen Epoche«, soll gern gesagt haben: »Man gebe mir die Orter und Geschwindigkeiten aller Materieteilchen, und ich werde sämtliche künftigen Ereignisse ohne jede Ausnahme auf ewige Zeiten vorhersagen.«

Der Scherz eines Genies? Oder eine Übertreibung als Hilfe, den tatsächlichen Stand der Dinge besser zu erkennen? Sicherlich beides. Laplace wußte, als er sein undenkbares Gedankenexperiment verkündete, sehr wohl, wovon er sprach, und war davon überzeugt, daß sein Versprechen - im Prinzip! - erfüllbar war. In der Praxis war es natürlich nicht zu verwirklichen, nicht einmal -um von der gesamten Materie ganz zu schweigen - für ein mechanisches System, zum Beispiel ein bestimmtes Gasvolumen, das aus einer ungeheuren Vielzahl von Molekülen besteht. Heute würden wir sagen: Die Laplacesche Aufgabe ist infolge von Mangel an Informationen über die in diesem Gasvolumen vor sich gehenden Ereignisse sowie infolge der Unmöglichkeit unlösbar, die Informationen in endlicher Zeit zu verarbeiten. Geht es jedoch nur darum?

Der klassischen Mechanik zufolge ließ sich, wenn man über die Anfangswerte verfügte, der weitere Ablauf der Vorgänge vorhersagen. Um diese Aufgabe zu lösen, braucht man jedoch - und das wird bisweilen übersehen - außer den Anfangsbedingungen auch die Randbedingungen. Anderenfalls müßte das zu untersuchende System abgeschlossen sein, also absolut bestimmte physikalische Grenzen und keine Wechselwirkung mit anderen materiellen Systemen haben.

Dabei .wird die Abgeschlossenheit eines makroskopischen System häufig infolge der Wechselwirkung mit Mikroobjekten durchbrochen. Ein makroskopischer Vorgang beginnt in einer riesigen Anzahl von Fällen mit der Wirkung, die von einem Mikroobjekt ausgeht. So entwickelt sich die Kettenreaktion, die zu einer Kerndetonation führt. Mit einem Gammaquant beginnt der Ionisierungsprozeß, der die Erscheinung eines Blitzes hervorruft.

Ein ebensolches Gammaquant kann die Struktur der Desoxyribo–nukleinsäure in einer lebenden Zelle verändern und eine Mutation auslösen, die weitreichende Folgen für makroskopische biologische Systeme haben kann.

Da das Verhalten der Mikroobjekte statischen Charakter hat, nehmen die

mit ihnen in Wechselwirkung stehenden nichtabgeschlossenen (offenen) makroskopischen Systeme zwangsläufig gleichfalls Züge eines objektiv statischen Verhaltens an. Auch hier wird also offenkundig, daß die klassische Mechanik ihrem Anspruch, alles Existierende beschreiben zu können, nicht gerecht werden konnte. Heute wissen wir jedoch, daß sehr viele Prozesse allein schon deshalb nicht aufgrund rein mechanischer Gesetze exakt beschrieben werden können, weil die Makrowelt in enger Verbindung mit Mikroerscheinungen steht. Ein weiterer entscheidender Schritt in die »seltsame Welt«, der in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts fiel, war die spezielle Relativitätstheorie Albert Einsteins. Dieser verallgemeinerte damit eine Reihe experimenteller physikalischer Befunde. Im Grund nahm die neue Theorie ihren Ausgang von einem »kleinen« Widerspruch zwischen der Mechanik und der Theorie elektromagnetischer Prozesse, einem Widerspruch, der 1873 von Maxwell in seinem berühmten Buch »Traktat über Elektrizität und Magnetismus« aufgedeckt worden war. Aus Maxwells Gleichungen folgte, daß sich ein elektromagnetisches Feld im Raum in Form elektromagnetischer Wellen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten kann. Einige Zeit später war es Heinrich Hertz gelungen, elektromagnetische Wellen experimentell zu erzeugen und zu registrieren. Wie aber war es zu erklären, daß sich elektromagnetische Wellen im leeren Raum ausbreiten können?

Vom Standpunkt der klassischen Mechanik aus können Wellen nur in einem Medium mit Elastizitätseigenschaften entstehen. Hier half die Ätherhypothese. Der Äther sollte ein den leeren Raum füllendes unsichtbares Medium sein, das die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen einschließlich des Lichts ermöglicht. Mit dem Äther entstand jedoch ein neuer Widerspruch: Nach den wohlbekannten Gleichungen der Mechanik mußte der Äther von ungeheurer Elastizität sein. Wie bewegt sich aber dann die Erde durch diesen Äther? Die Physiker standen jedoch derart im Bann der klassischen Mechanik, daß ihnen zunächst keine Zweifel kamen. Vielmehr nahmen sie ihre Zuflucht zu einer erstaunlichen Erklärung: Bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen würden die Elastizitätseigenschaften des Äthers deshalb entstehen, weil sich diese Wellen mit sehr hoher Geschwindigkeit fortbewegen, während die Bewegung gewöhnlicher fester Körper mit relativ geringer Geschwindigkeit vom Äther nicht beeinflußt würde.

Bei der Bewegung der Erde relativ zum Äther mußte man diese Bewegung jedoch im Prinzip messen können. So kam es zu dem von Michelson glänzend angelegten Versuch.

Wenn sich die Erde einem Lichtstrahl entgegenbewegt, der sich im unbeweglichen Äther ausbreitet, muß die Lichtgeschwindigkeit für einen Beobachter auf der Erde größer sein als bei deren Bewegung in der gleichen Richtung wie der Lichtstrahl. Michelson konnte jedoch bekanntlich keinen solchen Unterschied feststellen.

Es war die spezielle Relativitätstheorie Einsteins, die dann das tatsächliche Bild der Prozesse enthüllte, von denen hier die Rede ist. Die Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum ist stets konstant und hängt nicht von der Bewegung eines Beobachters ab. Das war der für die bisher üblichen mechanischen Vorstellungen erstaunliche Ausgangspunkt der neuen Theorie. Daraus folgte weiter, daß es in der Natur keine höhere Geschwindigkeit als die des Lichts geben kann; sie ist für physikalische Wechselwirkungen die extrem mögliche. Aus der Relativitätstheorie ergab sich jedoch noch mehr: Physikalische Größen, die bis dahin als absolut galten (zum Beispiel Masse, Länge einer Strecke), sind in Wirklichkeit relativ und hangen von der Bewegung des Bezugssystems ab.

Aus philosophischer Sicht

Derart revolutionäre Umwälzungen in fundamentalen Vorstellungen von der Welt und vom Bau der Materie machten nicht nur intensive naturwissenschaftliche Untersuchungen erforderlich, sondern verlangten auch eine gründliche philosophische Deutung.

Dazu schrieb Lenin: »Denn die Naturwissenschaft schreitet so schnell voran, macht eine Periode so tiefgehenden revolutionären Umbruchs auf allen Gebieten durch, daß sie ohne philosophische Schlußfolgerungen unter keinen Umständen auskommen kann.* Gerade in Zeiten, in denen sich ein Wandel in wissenschaftlichen Anschauungen vollzieht, in denen bis dahin unerschütterlich erscheinende Vorstellungen ihren Platz an prinzipiell neue Ideen abtreten, wird der enge Zusammenhang zwischen Naturwissenschaft und Philosophie besonders deutlich.

Die philosophische Deutung fundamentaler wissenschaftlicher Entdeckungen ermöglicht es, ihre grundsätzliche Bedeutung tiefer zu erfassen, ihren Platz im System des Wissens zu verstehen und die effektivsten Wege für die weitere Erkenntnis der Welt zu weisen.

* W. I. Lenin, Über die Bedeutung des streitbaren Materialismus. In: Werke, Bd. 33, S. 220 f.

Eine solche allseitige philosophische Analyse der Revolution in der Physik, die um die Jahrhundertwende stattfand, gab Lenin in seinem Werk »Materialismus und Empiriokritizismus« sowie in den »Philosophischen Heften« und einigen weiteren Arbeiten.

Viele Naturwissenschaftler jener Zeit gerieten angesichts des Zusammen–bruchs gewohnter Vorstellungen der klassischen Physik in Verwirrung und zogen den idealistischen Schluß vom »Verschwinden der Materie«. Sie urteilten etwa so: Wenn unsere Kenntnisse über die Materie, die jahrhundertelang ausgezeichnete Dienste geleistet haben, sich plötzlich als unhaltbar erweisen, wenn sich selbst grundlegende Lehrsätze der Naturwissenschaft wandeln können, dann kann das nur bedeuten, daß es gar keine Materie gibt, sondern nur unsere Vorstellungen von ihr.

Faktisch war das der Versuch, die Naturwissenschaft auf einen idealistischen Weg zu drängen. Im heftigen Kampf gegen Idealisten aller Schattierungen verfocht Lenin unbeirrt und konsequent die materialistische Richtung in der Wissenschaft und wandte sich entschieden gegen alle Versuche, die angebrochene Revolution in der Naturwissenschaft und den damit verknüpften Bruch mit herkömmlichen wissenschaftlichen Begriffen im Interesse der Reaktion auszunutzen, die eine Stütze in der religiös–idealistischen Weltanschauung suchte.

Lenin unterzog die Auffassungen der »physikalischen Idealisten« einer gründlichen und vernichtenden Kritik. In seinem Werk »Materialismus und Empiriokritizimus« erklärte er: »Die Materie verschwindet« heißt: Es verschwindet jene Grenze, bis zu welcher wir die Materie bisher kannten, unser Wissen dringt tiefer; es verschwinden solche Eigenschaften der Materie, die früher als absolut, unveränderlich, ursprünglich gegolten haben… und die sich nunmehr als relativ, nur einigen Zuständen der Materie eigen erweisen.«*

Wie die Erfahrungen aus der Revolution in der Physik überzeugend beweisen, sind die Grenzen der Wahrheit jedes wissenschaftlichen Lehrsatzes, jeder wissenschaftlichen Theorie, wie umfassend diese auch immer zu sein scheinen, stets relativ, ausgenommen wohl nur so allgemeine Gesetze wie das von der Erhaltung der Materie und der Bewegung und das Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Lenin schrieb weiter:

»Doch der dialektische Materialismus betont nachdrücklich, daß jede wissenschaftliche These über die Struktur und die Eigenschaften der Materie nur annähernde, relative Geltung hat, daß es in der Natur keine

* W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus. In: Werke, Bd. 14, S. 260

absoluten Schranken gibt, daß die sich bewegende Materie Verwandlungen durchmacht aus einem Zustand in einen anderen…«*
Und an anderer Stelle heißt es:
»Der Mensch kann die Natur nicht als ganze, nicht vollständig, kann nicht ihre »unmittelbare Totalität« erfassen = widerspiegeln — abbilden, er kann dem nur ewig näher kommen, indem er Abstraktionen, Begriffe, Gesetze, ein wissenschaftliches Weltbild usw. usf. schafft.«**
Die Anwendbarkeit jeder wissenschaftlichen Theorie hat Grenzen. Zwangsläufig kommt ein Augenblick, in dem neue Tatsachen, die uns die unendlich vielfältige Natur darbietet, eine Erweiterung und allgemeinere Fassung bisheriger Vorstellungen verlangen.
Wesentlich ist dabei, daß das früher erlangte Wissen von den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen nicht aufgehoben, sondern im Gegenteil bekräftigt und gefestigt wird. In der Zeit der klassischen Mechanik meinte man, ihre Gesetze seien auf ausnahmslos alle Naturerscheinungen anwendbar. Das war ein Irrtum. Die Relativitätstheorie führte ihren Schlag eben gegen diesen Irrtum, aber durchaus nicht gegen die Newtonsche Mechanik. Die klassische Mechanik erwies sich nun als spezieller oder, besser, als Grenzfall der Relativitätstheorie bei Geschwindigkeiten, die wesentlich unter der Lichtgeschwindigkeit liegen, sowie bei nicht zu großen Massen. Somit büßte die klassische Mechanik ihre Bedeutung keineswegs ein, sondern war nun im Gegenteil wesentlich stärker gesichert.
Das gilt nicht nur bezüglich der Newtonschen Mechanik und der Relativitätstheorie. Die eingetretene Situation fand ihren Ausdruck in einem fundamentalen Prinzip der modernen Physik, dem sogenannten Konformitätsprinzip. Danach gilt folgendes: Wie stark eine neue, allgemeinere Theorie sich auch immer von der früheren unterscheiden mag, muß doch die neue Theorie in dem Bereich, in dem die frühere Theorie durch Tatsachen untermauert ist, in diese übergehen oder zumindest mit ihr übereinstimmen.
Eine Umwälzung in unseren Vorstellungen von der Natur ist stets ein Übergang von einer relativen Wahrheit zu einer anderen, die die objektive Realität genauer widerspiegelt.
Einerseits gilt: «Das Elektron ist ebenso *unerschöpflich* wie das Atom, die Natur ist unendlich…« Andererseits aber »beharrt der dialektische Materialismus auf dem zeitweiligen, relativen, annähernden Charakter aller dieser Marksteine in der Erkenntnis der Natur durch die fortschreitende

* W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus. In: Werke, Bd. 14, S. 261
**W. 1. Lenin, Philosophische Hefte. In: Werke, Bd. 38, S. 172

Wissenschaft des Menschen.«*
Wenn aber jede wissenschaftliche Theorie Grenzen ihrer Anwendbarkeit hat, wenn es in der Natur offenkundig einen Bereich von Erscheinungen und Bedingungen gibt, auf den diese Theorie nicht anwendbar ist, bedeutet das, daß die Wissenschaft im Zuge ihrer Entwicklung immer neue Eigenschaften der untersuchten Objekte, immer überraschendere Erscheinungen aufdecken wird, die in der Sicht der früheren Lehrsätze immer seltsamer werden. Der Gedanke einer sich zwangsläufig ergebenden immer seltsameren Welt ist demnach aufs engste mit den dialektisch-mate–rialistischen Vorstellungen von der absoluten und der relativen Wahrheit verbunden.
Zu diesem Schluß kam auch Lenin: «Der menschliche Geist hat viel Wundersames in der Natur entdeckt, er wird noch mehr entdecken und dadurch seine Macht über die Natur erweitern…«**
Diese Entdeckungen waren, wie Lenin hervorhob, nur eine weitere Bestätigung des dialektischen Materialismus.

* W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus. A. a. 0., S. 262
** ebenda, S. 283

Das erstaunliche Weltall 2

Der Weg der Erkenntnis

Im Zeichen des Gedankens einer immer seltsameren Welt vollzog sich im Grunde die Entwicklung der Naturwissenschaft, vor allem der Physik und Astronomie, besonders in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Mit jeder neuen fundamentalen Entdeckung bemächtigte sich dieser Gedanke immer mehr des Denkens der Wissenschaftler.

Angesichts des stürmischen Fortschritts der Wissenschaft geht der Gedanke der ständig seltsamer werdenden Welt der modernen Physik und Astronomie in Fleisch und Blut über. Wenn sich ein Wissenschaftler heute außergewöhnlichen Fakten gegenübersieht, gerät er schon nicht mehr in Verwirrung, und in manchen Fällen sucht er direkt nach dem Außergewöhnlichen.

Der hervorragende sowjetische Physiker Lew Landau sagte einmal: »Wer sich nicht mit der Physik befaßt, kann sich schwerlich vorstellen, wie weit die Physik in der Erkenntnis der Naturgesetze vorangeschritten ist und welches phantastische Bild sich dabei zeigt. Vielleicht ist es der größte Triumph des menschlichen Genius, daß der Mensch fähig ist, Dinge zu verstehen, die sich vorzustellen er schon nicht mehr imstande ist.«

Hier ist der Platz, daran zu erinnern, daß Intensität, Zielsicherheit und Effektivität der Wissenschaft ganz unmittelbar von vielen persönlichen Eigenschaften des Wissenschaftlers, des Forschers abhängen. Dazu gehören seine Begabung und sein Wissen, seine Denkweise und Intuition, seine Fähigkeit, Fakten zu analysieren und zu verallgemeinern, seinen Standpunkt zu vertreten, Fehler zuzugeben und sich vom hypnotischen Einfluß des Gewohnten frei zu machen, sowie sein Vermögen, andere mitzureißen. In ihrer Gesamtheit sind diese und andere Eigenschaften eines Forschers jeweils einmalig, und das gilt folglich auch für seine wissenschaftliche Tätigkeit. Übrigens ist es aufschlußreich, worin Einstein selbst sein Hauptverdienst sah. Als ihn eines Tages sein neunjähriger Sohn fragte, warum er so berühmt sei, antwortete, wie man sich erzählt, der große Physiker:

«Wenn ein blinder Käfer über einen gebogenen Ast läuft, wird er nicht gewahr, daß dieser gekrümmt ist. Ich hatte das Glück, das zu erkennen, was der Käfer nicht bemerkte.«

Obwohl das sehr bildhaft gesagt ist, trifft es doch wohl den Kern. Einstein gelang der entscheidende Schritt im Widerspruch zu anscheinend ganz offenkundig richtigen Lehrsätzen der klassischen Physik.
Um das zu erkennen, wenden wir uns noch einmal den Ausgangsthesen der speziellen Relativitätstheorie zu. Wir stellen uns vor, daß zwei Beobachter ein und denselben Vorgang untersuchen. Sie befinden sich in verschiedenen Bezugssystemen, die sich relativ zueinander gleichmäßig und geradlinig bewegen. Wie man früher meinte, darf der Verlauf des physikalischen Vorgangs nicht davon abhängen, in welchem System sich der Beobachter befindet. Die Ergebnisse ihrer Beobachtungen können sozusagen leicht auf einen Nenner gebracht werden, und zwar mit Hilfe der Galilei-Transformationen, die auf der Annahme beruhen, daß die Zeit in allen Bezugssystemen gleich abläuft und sich die Geschwindigkeiten auf einfache geometrische Weise bestimmen.
Einstein setzte diesen Lehrsatz, der für gewöhnliche Bedingungen völlig zutrifft, für solche Fälle in Zweifel, in denen sich die Geschwindigkeit der des Lichts nähert. Es stellte sich heraus, daß die Galilei-Transformationen dann nicht anwendbar sind.
Auf eine Umfrage, in der auch das Lieblingsmotto genannt werden sollte, antwortete Karl Marx: «An allem ist zu zweifeln.«
Dazu schrieb der sowjetische Philosoph B. S. Grjasnow:
«Für Marx war der Zweifel eine notwendige Bedingung jeder wissenschaftlichen Tätigkeit. Wo es keinen Zweifel gibt, gibt es auch keine Wissenschaft. Wissenschaft ist ihrem Wesen nach zweifelndes Wissen.«
«Der Zweifel ist ein notwendiger Bestandteil der sich entwik-kelnden Wissenschaft«, erklärte der Physiker Richard Feynman, Nobelpreisträger. «Entweder wir lassen die Tür für unseren Zweifel offen, oder es wird keinen Fortschritt geben. Keine Erkenntnis ohne Frage, keine Frage ohne Zweifel.«
In einem Gespräch, das Niels Bohr in Moskau mit Lew Landau führte, fragte dieser den bedeutenden dänischen Physiker: »Wie kam es, daß Kopenhagen zu solch einem berühmten wissenschaftlichen Zentrum geworden ist, aus dem derart viele fähige Physiker hervorgegangen sind?«
»Ich weiß es wirklich nicht.« Bohr lächelte verlegen. »Vielleicht deshalb, weil wir uns nicht scheuten, mit naiven Fragen unsere Unwissenheit zu offenbaren.«
Zugleich muß ein Wissenschaftler jedoch neben dem Gefühl für das Maß auch einen gesunden Konservatismus haben sowie -völlig unerläßlich - über hohes Wissen und Können verfügen. Dilettanten können keine bedeutsamen Entdeckungen machen.

Dafür gibt es in der Geschichte der modernen Wissenschaft kein einziges Beispiel.
Wissenschaftler können unterschiedliche Menschen sein, aber ein wahrer Forscher wird dann und nur dann geboren, wenn er vom Drang nach Erkenntnis gepackt wird und dieser Drang mit den Jahren nicht nachläßt. Das Interesse an dem, was der Mensch noch nicht weiß, ist der wichtigste Impuls. Die Eigenschaften eines Menschen sind natürlich nicht ohne Einfluß auf den Charakter seiner Tätigkeit als Wissenschaftler.
Theoretiker oder Experimentator, Beobachter zu sein ist bei weitem nicht dasselbe.
Was braucht ein Theoretiker? Bleistift und Papier, mitunter noch einen Rechner, diesen aber erst, wenn ein Gedanke bis zu Formeln und Berechnungen gediehen ist. Ein Beobachter aber braucht große Beharrlichkeit, peinliche Genauigkeit, viel Geduld und — eine gehörige Portion Glück.
Die heutige extragalaktische Astronomie verlangt Beobachtungen ferner kosmischer Objekte an der Grenze der Leistungsfähigkeit selbst der größten Teleskope. Diese Grenze kann aber bei weitem nicht immer ausgenutzt werden, denn Fotos der erforderlichen Güte lassen sich nur unter besonders günstigen atmosphärischen Bedingungen gewinnen. Solche Nächte gibt es aber vielleicht nur vier oder fünf im Jahr. Nun wird solch ein Teleskop nicht nur von einem Beobachter benutzt, so daß ganze Beobachtungsreihen parallel laufen und alle Nächte schon im voraus vergeben werden. Und hier eben braucht man Glück…
Ich trete in ein geräumiges Zimmer im siebenten Geschoß des Hotels »Moskwa« ein, und mir entgegen kommt ein mittelgroßer untersetzter Mann mit bräunlichem Gesicht. Es ist Wiktor Ambarzumjan, zweifellos einer der bedeutendsten Astrophysiker unserer Zeit. Das Gespräch dreht sich um einige prinzipielle Entwicklungsprobleme der Physik und Astronomie.
»Mitunter kann man die Meinung hören, daß sich die moderne Astronomie und Physik einem Punkt nähern, an dem die wichtigsten Naturgesetze, ausgeschöpft sind. Halten Sie diese Auffassung für gerechtfertigt?« frage ich.
»Es gibt tatsächlich die Tendenz, zu glauben, die Gesamtheit aller bekannten und sogar der noch unbekannten Naturerscheinungen lasse sich auf die heutigen fundamentalen Gesetze zurückführen. Die Welt ist jedoch unendlich vielfältig. Und deshalb ist die Annahme schwerlich gerechtfertigt, daß diese unendliche Vielfalt mit Hilfe fundamentaler Gesetze und Theorien

verstanden werden kann, die eine Verallgemeinerung der begrenzten und unzureichenden Menge der uns bekannten Tatsachen sind. Es ist falsch, zu glauben, das System der Gesetze der theoretischen Physik, das wir auf der heutigen Entwicklungsetappe haben, sei endgültig und absolut exakt. Die Hoffnung, daß wir an der Schwelle der Schaffung eines endgültigen Weltbildes stehen, ist naiv.«

Pferdekopfnebel im Sternbild Orion

»Bedeutet das, daß die Welt in Wirklichkeit nicht so ist, wie sie uns die moderne Naturwissenschaft darstellt?«

»Die Welt ist nicht so einfach gebaut, wie wir das gern hätten. Auf jeder Entwicklungsetappe der Wissenschaft können unsere Kenntnisse nur als ein bestimmter Grad der Annäherung an das tatsächliche Weltbild angesehen werden. Neue Beobachtungen erweitern jedesmal diese Vorstellungen. So war es, und so wird es immer sein.«

»Und was meinen Sie zu der Ansicht, daß man die ganze unendliche Vielfalt des Weltalls mit Hilfe einer endlichen Zahl fundamentaler Gesetze beschreiben kann, ebenso wie wir mit zehn Ziffern die unendliche Menge der natürlichen Zahlen beschreiben können?«

»Wie die Entdeckungen der letzten Jahre in der Astrophysik besagen, ist diese

diese Auffassung falsch. Wahr ist das Gegenteil: Die Natur ist unendlich tief.«
»Wir können der Natur demnach endlos Fragen stellen? Welche sind Ihrer Meinung nach am interessantesten?«
Wiktor Ambarzumjan tritt ans Fenster. In der Abenddämmerung schim–mern die ersten Sterne auf. Und in der Stadt leuchten die langen Reihen der Straßenlampen. Sie scheinen miteinander zu konkurrieren: die fernen Lichter des Himmels und die vom Menschen entzündeten Lichter der Stadt.
Langsam wendet sich Ambarzumjan wieder zu mir um und antwortet, wohl weniger mir als seinen eigenen Gedanken:
»Gewiß, jedes neue wissenschaftliche Experiment, alle Beobachtungen sind unsere Fragen an die Natur, auf die wir eine Antwort erhoffen. Größte Bedeutung für den Fortschritt der Wissenschaft haben dennoch die Fälle, in denen uns die Natur entweder völlig unerwartete Antworten gibt oder uns selbst noch überraschendere Fragen stellt.«
Während Wiktor Ambarzumjan ein Theoretiker ist, der unmittelbare Beziehungen zu astronomischen Beobachtungen hat, ist Gustav Naan, Mitglied der Estnischen Akademie der Wissenschaften und Chefredakteur der Estnischen Enzyklopädie, ein der Philosophie näher stehender Theoretiker.
In einem Gespräch mit ihm interessiert mich daher hauptsächlich seine Meinung über die weiteren Perspektiven der physikalisch-astronomischen Erforschung des Weltalls. Was meint er speziell zu der gelegentlich vertretenen Ansicht, daß alle oder doch fast alle fundamentalen Naturgesetze bereits entdeckt sind?
Gustav Naan, gewöhnlich zurückhaltend und gelassen, wird bei dieser Frage sehr lebhaft und antwortet augenblicklich:
»Keinesfalls ist das so! Auf jeder Entwicklungsstufe der Zivilisation wird unser Wissen stets nur eine kleine, endliche Insel im unendlichen Ozean des Unerkannten und Unerforschten sein. Es wird immer ungelöste Probleme und nichterkannte Gesetze geben, und jedes gelöste Problem wird ein oder mehrere neue Probleme aufwerfen. Der Weg der Erkenntnis hat kein Ende. Dennoch wird die Hoffnung - wohl rein psychologisch begründet —, daß irgendwann einmal alle fundamentalen Gesetze der unerschöpflichen Natur entdeckt sein werden, heute und wahrscheinlich auch künftig immer wieder ausgesprochen.«
Er erhebt sich und nimmt ein Buch aus dem Regal.
»Hier: ein sehr kluger Kopf, der amerikanische Physiker Richard Feynman. Er meint, wir hätten das außergewöhnliche Glück, in einer Zeit zu leben, in

der man noch Entdeckungen machen kann. Es werde, schreibt Feynman, ein Zeitalter kommen, in dem alles bekannt und die weitere Forschung sehr langweilig sein werde. Dazu möchte ich sagen, daß es solche ‚Zeitalter' jedoch schon mehrere gegeben hat. Jedenfalls wurden das »Zeitalter des Aristoteles« und das »Zeitalter Newtons« als solche angesehen. Man kann aber eine beliebige Epoche nehmen und wird sehen, daß das Wissen in dieser Epoche ungeheuer groß im Vergleich zum Wissen der vorangegangenen Generationen und außerordentlich gering im Vergleich zu dem der folgenden Generationen war. Ich möchte sehr gern, daß nicht ich recht habe, sondern daß Feynman recht hat. Wohl jeder möchte die Hoffnung nähren, daß dereinst alle »verflixten« Fragen erschöpfend beantwortet, alle wissenschaftlichen und sonstigen Probleme wenigstens »im wesentlichen« gelöst sein werden, so daß man sich nicht mehr zu beeilen braucht und geruhsam seinen Tee vor dem Ultracolor-Superstereo-Fernseher trinken kann. Ich sehe aber keine Chance, daß dieser Wunsch in Erfüllung geht.«

»Wenn das so ist«, stelle ich meine nächste Frage »welche Ideen halten Sie dann in der Physik und Astrophysik für die aussichtsreichsten?«

»Bei Aussagen hierüber sollte man größte Vorsicht walten lassen. Hier hängt auch viel von den persönlichen Neigungen ab. Auf mich selbst machen den stärksten Eindruck jene Gedanken, die auf der Annahme fußen, daß die Topologie des Weltalls nichteuklidisch ist und verschiedene Besonderheiten hat. Von der weiteren Entwicklung dieser Gedanken kann meiner Meinung nach ein revolutionärer Fortschritt nicht nur in der Astronomie, sondern auch in der Physik erwartet werden. Dazu gehört speziell auch die Frage der Diskontinuität und Kontinuität des Raumes, im Kleinen wie im Großen.«

»Es geht also um die Möglichkeit, daß Raumgebiete oder ganze Welten existieren, die in ihren geometrischen Eigenschaften stark voneinander abweichen?«

»Ja, in den geometrischen Eigenschaften der vierdimensionalen Raum-Zeit. Hier kann es die größten Überraschungen geben: So kann sich beim Übergang von einer Welt in eine andere die Richtung oder das. Tempo des Zeitablaufs ändern.«

»Wenn sich tatsächlich herausstellt, daß es neben unserer Welt noch andere Welten oder Weltteile gibt, die sich in ihrer Topologie unterscheiden, werden doch wohl zu ihrer Beschreibung unsere gewöhnlichen makros–kopischen Begriffe nicht ausreichen. Dann werden also irgendwelche zusätzlichen Begriffe gebraucht, wie das in der Physik der Mikrowelt der Fall ist?«

»Wahrscheinlich wird man nicht ohne zusätzliche Begriffe auskommen«, antwortet Gustav Naan. «Es wird dann wohl der Ausarbeitung eines neuen Begriffs - und mathematischen Apparates bedürfen, wie das bei der Entwicklung jeder neuen fundamentalen Theorie zu sein pflegt.« Er fügt hinzu: »Das wird selbstverständlich nicht nur große Anstrengungen erforderlich machen, sondern auch ein gewisses Umdenken. Als zum Beispiel Maxwell seine Theorie des elektromagnetischen Feldes entwickelte, versuchte er lange Zeit, diese Theorie mit den Begriffen der Mechanik aufzubauen. Erst nach Jahren erkannte man, daß das gar nicht notwendig war und daß das elektromagnetische Feld selbst ein objektiver Begriff ist, der nicht verlangt, auf uns schon bekannte andere Begriffe zurückgeführt zu werden. Und solche Schritte in der Wissenschaft sind eben mit einem beträchtlichen Umdenken verbunden.«

Obwohl unser Gespräch schon ziemlich lange dauert und der Chefredakteur der Estnischen Enzyklopädie sicherlich noch dringende Arbeiten zu erledigen hat, stelle ich doch noch eine Frage aus einem anderen Bereich des Erkenntnisprozesses, deren Beantwortung durch Gustav Naan mich brennend interessiert:

»Es gibt Fälle, in denen wir auf unverständliche und noch nicht ausreichend gesicherte Ergebnisse stoßen. Hat es dann einen Sinn, ihnen eine vorläufige Erklärung auch auf die Gefahr hin zu geben, daß sie sich schließlich als falsch erweist? Oder ist es zweckmäßiger, auf solche Versuche so lange zu verzichten, bis die betreffenden Ergebnisse überprüft und ausreichend gesichert sind?«

Ohne Zögern antwortet Naan: »Ich selbst neige zu vorläufigen Erklärungsversuchen, auch wenn sie anfangs sehr unsicher sind und wenig Erfolgsaussichten haben! Im Grunde genommen reichen die Fakten nie aus, und niemand vermag zu sagen, wann sie genügen, um darauf eine gesicherte Theorie aufzubauen. Wenn auf »verfrühte« Hypothesen und Theorien verzichtet wird, kann das den Fortschritt hemmen. Was aber das Fehlerrisiko anlangt, so erinnere ich daran, daß noch keine einzige Theorie in fertiger Form geboren worden ist.«

Was meinen nun die Philosophen über die Perspektiven der Erkenntnis des Weltalls?

Der Moskauer Philosoph Wadim Kasjutinski vom Institut für Philosophie der Akademie der Wissenschaften der UdSSR befaßt sich ständig mit der philosophischen Deutung der in der heutigen Astronomie vor sich gehenden Ereignisse.

Im Zimmer auf und ab gehend, legt Wadim Kasjutinski seine Überlegungen

in aller Klarheit dar:
»Die Auffassung, daß den Astronomen eine endliche Zahl von fundamentalen Gesetzen (oder Prinzipien) zur Erklärung des Weltalls ausreicht, hängt mit der Vorstellung zusammen, das Weltall als Objekt der astrophysikalischen Forschung sei die »ganze« materielle Welt, untersucht unter physikalisch-astronomischem Gesichtswinkel. Sobald eine »einheitliche physikalische Theorie« geschaffen ist, die die ganze Vielfalt der physikalischen Erscheinungen im Weltall erfaßt, werden uns früher oder später - so nimmt man an - alle seine Grundeigenschaften bekannt sein. Danach bleibt dann den Astronomen nichts anderes zu tun, als das universelle System des astronomischen Wissens auf immer weitere neue Erscheinungen anzuwenden.«
»Und was halten Sie davon, daß die Zahl der prinzipiell neuen Erscheinungen möglicherweise endlich sein soll?«
«Solch eine Prognose engt die Perspektiven des weiteren Fortschritts der Astronomie noch stärker ein.«
»Es ist mir nicht ganz verständlich, wie eine derartige Annahme gerade in unserer Zeit entstehen konnte, in der mehr astronomische Entdeckungen gemacht werden als je zuvor.«
«Es mag paradox erscheinen, aber gerade diesem Umstand ist die Annahme zuzuschreiben. Die Beobachtung des Weltalls in der gesamten Breite des Spektrums der elektromagnetischen Strahlung in Verbindung mit dem sich rasch vergrößernden Auflösungsvermögen unserer Teleskope wird es danach ermöglichen, alle Haupttypen physikalischer Erscheinungen im Kosmos bis zum sogenannten Horizont der Ereignisse zu enthüllen. Von jenseits dieses ‚Horizonts' soll dann der irdische Beobachter infolge der großen Entfernung keine Informationen mehr erhalten können. Und damit wird die Entdeckung prinzipiell neuer Erscheinungen in unserem Weltall ihr Ende finden.«
»Das ist doch wohl ein sehr pessimistischer Standpunkt.«
»Es gibt aber, stellen Sie sich vor, Leute, die ihn für optimistisch halten, weil er der modernen Astronomie sehr große Möglichkeiten der Erkenntnis einräumt. Ich aber pflichte Ihnen bei: Diese Auffassung ist sehr pessimistisch, denn sie prophezeit eine baldige Erschöpfung der untersuchungswürdigen Objekte des Weltalls.«
Kasjutinski denkt kurz nach und zuckt dann mit den Schultern. »Und wenn es wirklich einmal gelingen sollte, die Vielfalt der qualitativ verschiedenen Erscheinungen, die wir im Rahmen des heutigen Systems des physikalischen Wissens vorhersagen und erklären können, auszuschöpfen,

würde eine dann geschaffene »einheitliche physikalische Theorie« die Lage zweifellos ändern: Die Astronomie würde dann sogar in dem von der Beobachtung erfaßten Gebiet des Weltalls eine Reihe von prinzipiell neuen Möglichkeiten zur Untersuchung einer Vielzahl von bis dahin unbekannten Erscheinungen erhalten.«

Wir sind wohl nun ausreichend vorbereitet, um die Schwelle der immer seltsamer werdenden Welt, die die moderne Wissenschaft vom Weltall vor uns öffnet, zu überschreiten.

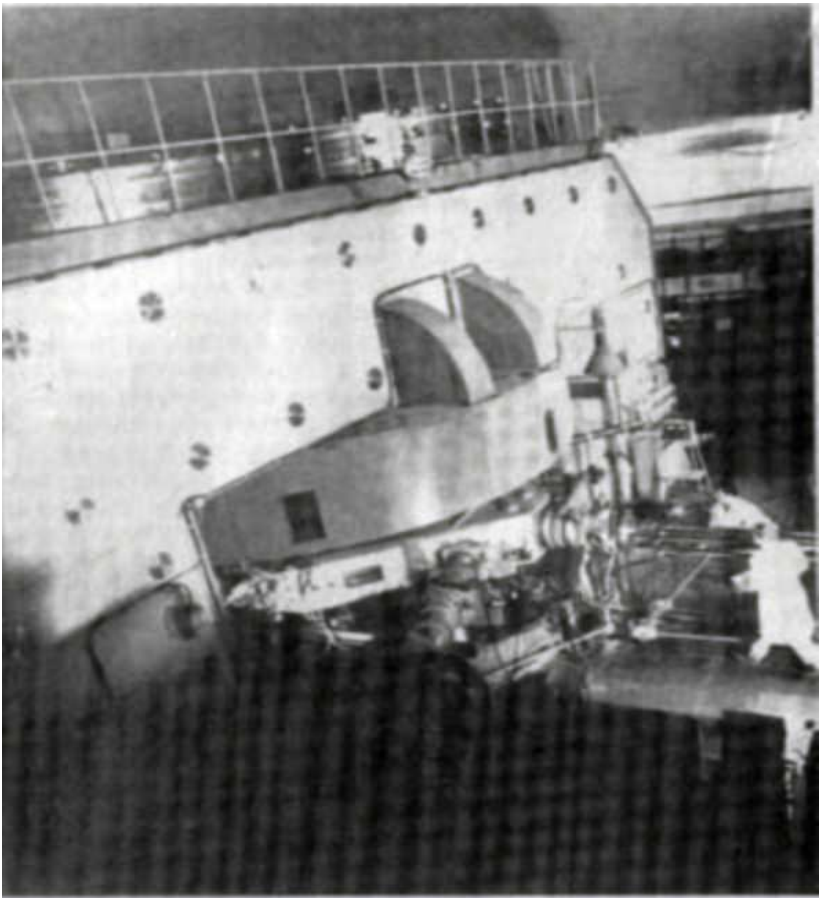
Das Weltall — ein Laboratorium

Der sowjetische Physiker Akademiemitglied Lew Arzimowitsch veröffentlichte vor einigen Jahren, kurz vor seinem Tod, in der Zeitschrift »Priroda« einen Aufsatz unter der Überschrift »Die Zukunft gehört der Astrophysik«. Der Verfasser, selbst ein bedeutender Kernphysiker, gab also nicht seinem eigenen Fachgebiet, sondern der Astrophysik den Vorrang. Was veranlaßte ihn dazu? Das schnelle Vordringen in die »seltsame Welt« begann, wie gesagt, um die Jahrhundertwende, als man sich einer intensiven Erforschung der Mikroprozesse zuwandte. Wenn der Mensch dabei auf zahlreiche ganz außergewöhnliche, «wundersame« Erscheinungen in den verschwindend kleinen Raum-Zeit-Intervallen stieß, durfte dasselbe erwartet werden, wenn die Forschung tief in den Kosmos vordrang. Die ersten Schritte in diese höchst merkwürdige Welt waren die Relativitätstheorie Einsteins sowie die Entdeckung Alexander Friedmanns, daß das Weltall nicht stationär ist.

Um nun immer weiter in diese Welt der außergewöhnlichen Erscheinungen vorzudringen, reichen »gewöhnliche« Untersuchungen heute nicht mehr aus: Die Materie muß unter extremen Bedingungen, in extremalen Zuständen untersucht werden: Hunderte von Millionen Grad, Dutzende von Millionen Atmosphären Druck, eine Dichte von Milliarden Tonnen in einem einzigen Kubikzentimeter, Energien, vergleichbar der Energie der thermonuklearen Detonation einer Masse, die Zehntausenden von Sonnenmassen entspricht. Und das Laboratorium, in dem wir solche Bedingungen vorfinden und solche Zustände untersuchen können, ist das Weltall in seiner unendlichen Vielfalt. Und gerade deshalb haben astrophysikalische Untersuchungen heute größtes praktisches Interesse erlangt.

Um weiter in die Geheimnisse der Natur einzudringen, müssen die Physiker, wie es N. W. Mizkewitsch, Physiker und Mathematiker, ausgedrückt hat, einen Stern, die Galaxis, ja das Weltall in ihren Laboratorien »unterbringen«.

Lew Arzimowitsch ging, als er vom Vorrang der Astrophysik sprach, nicht nur von abstrakten theoretischen Überlegungen aus, sondern auch von ökonomischen Betrachtungen. Die heutige astronomische und physikalische Forschung benötigt sehr teure Geräte und Apparaturen, riesige Komplexe, die großen Industriebetrieben vergleichbar sind. Es ist daher zweckmäßig, die Mittel vor allem in solchen Bereichen der Wissenschaft einzusetzen, die



Schwerionenbeschleuniger im Vereinigten Institut für Kernforschung in Dubna (UdSSR)

besonders große Perspektiven haben und in nächster Zukunft wertvollste neue Erkenntnisse versprechen. Wenn man die fundamentalen Entdeckungen der letzten Jahrzehnte in den verschiedenen Wissenschaften zusammenzählt, nimmt die Astrophysik bereits in dieser Beziehung einen der ersten Plätze ein.

Die Bedeutung, die die Astronomie für die Formung der materialistischen Weltanschauung hat, ist allgemein bekannt. Damit ist jedoch ihr Einfluß auf das gesellschaftliche Bewußtsein nicht erschöpft. Vielmehr geht es auch um

ihre Rolle bei der Ausbildung der Denkweise unabhängig von Fachrichtung und Beruf. Der Mensch soll die Notwendigkeit erkennen, die Vorgänge und Erscheinungen in der ihn umgebenden Wirklichkeit mit einer progressiven Einstellung zu analysieren, nach kühnen, originellen Lösungen zu suchen sowie die wirksamsten, optimalen Wege zu gehen, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Das Beispiel der Naturwissenschaften hat hierbei sehr große Bedeutung, weniger die von ihnen erzielten konkreten Ergebnisse als vielmehr das Beispiel der Entwicklung der Dialektik des Erkenntnisprozesses auf dem jeweiligen Gebiet. Diese Dialektik liegt zwar in jeder Naturwissenschaft vor, aber die moderne Astronomie nimmt in dieser Hinsicht eine ganz besondere Stellung ein.

Hier ist der Sender »Weltall«

Nachdem das Weltall mit Radiowellen zu sprechen begonnen hatte, wurde eine ganze Reihe von völlig neuen, ungewöhnlichen Erscheinungen und Objekten entdeckt, deren Existenz die Wissenschaftler nicht einmal geahnt hatten.

Im Sternbild Cygnus (Schwan) entdeckte man 1951 im Gebiet der sehr starken Radioquelle Cygnus A zwei ganz eng beieinander liegende kleine Galaxien. Schon vorher war bekannt, daß von vielen Galaxien einschließlich unserer Galaxis eine Radiofrequenzstrahlung, kurz: Radiostrahlung, ausgeht. Das war jedoch thermische Radiostrahlung, wie sie jeder Körper aussendet, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt. Die Intensität dieser Strahlung beträgt etwa ein Millionstel der Lichtstrahlung der Galaxien, dieser Sterninseln des Weltalls. Bei der Radiogalaxis im Cygnus liegt sie jedoch ebenso wie bei anderen Radiogalaxien weit über der Intensität der Strahlung im optischen Bereich. Wie stark diese Strahlung ist, läßt sich daran ermessen, daß die auf der Erde empfangene Radiostrahlung von Cygnus A die gleiche Intensität wie die ruhige Sonne hat, obwohl die Sonne nur rund 8 Lichtminuten, Cygnus A dagegen rund 700 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt ist.

Zur Erklärung dieser außergewöhnlichen Erscheinung mußte zunächst die Frage untersucht werden, welcher physikalische Mechanismus eine derart

intensive Radiostrahlung Klar war anfangs nur eins: Es ist ein nichtthermischer Mechanismus. Erhitzte Körper strahlen im optischen Bereich viel stärker als im Radiofrequenzbereich. Demgegenüber entspricht die Lichtstrahlung von Cygnus A der von 5 Milliarden Sonnen, die der Radiostrahlung aber entspricht der Wärmestrahlung von 25 Milliarden Sonnen.

Auf ein kosmisches Objekt mit nichtthermischer Radiostrahlung waren die Astrophysiker erstmals einige Jahre vor der Entdeckung von Cygnus A bei der Untersuchung des sogenannten Krebsnebels im Sternbild Taurus (Stier) gestoßen. Seinen Namen verdankt dieser kleine Gasnebel seiner Form, die frühere Beobachter an einen Krebs erinnerte. Dieser Krebsnebel ist zu einem wichtigen Objekt der astrophysikalischen Forschung geworden. Er zeichnet sich durch seine schnelle Ausdehnung aus. Wie aus dem Vergleich von Fotos aus verschiedenen Jahren folgt, breiten sich die Gase des Nebels mit ungeheurer Geschwindigkeit aus, deren Größenordnung 1000 km/s beträgt. Diese hohen Geschwindigkeiten sind offenbar die Folge einer gigantischen Explosion, die vor rund 900 Jahren stattgefunden hat, als die gesamte Masse des Krebsnebels an einem Ort konzentriert war. Das muß im 11. oder 12. Jahrhundert gewesen sein. Chroniken aus jenen Zeiten enthalten Mitteilungen über dieses Ereignis: Im Frühjahr des Jahres 1054 flammte an dieser Stelle des Himmels eine Supernova auf, die 25 Tage lang so hell leuchtete, daß sie auch am Tageshimmel gut zu sehen war. Sie konnte 650 Tage lang beobachtet werden. Aus einem Vergleich aller Daten konnte man schließen, daß der Krebsnebel der Überrest dieser Supernova ist. Seine Masse dürfte ein Zehntel der Sonnenmasse erreichen. Man kann daran die Gewalt der Explosion der Supernova ermessen, bei der eine so große Materiemenge in den umgebenden Raum geschleudert wurde. Zugleich stellte sich heraus, daß der Krebsnebel die drittstärkste Radioquelle nach einer solchen im Sternbild Kassiopeia und nach Cygnus A ist.

Damit im Zusammenhang stand eine der bedeutsamsten Entdeckungen in der modernen Astronomie, die nicht nur die rätselhaften Eigenschaften des Krebsnebais erklärte, sondern auch den Schlüssel zum Verständnis vieler anderer Erscheinungen im Weltall lieferte. Diese Entdeckung lag zunächst auf theoretischer Ebene und war hauptsächlich sowjetischen Wissenschaftlern zu danken. Sie entwickelten die Theorie der nichtthermischen elektromagnetischen Strahlung kosmischer Objekte. Diese Strahlung wird von Elektronen hervorgebracht, die sich mit der Lichtgeschwindigkeit nahekommenden Geschwindigkeiten durch Magnetfelder bewegen (»relativistische Elektronen«). In Analogie zu Prozessen in Beschleu–

nigern für geladene Teilchen erhielt diese Strahlung die Bezeichnung »synchrotron«.
Wie sich in der Folgezeit herausstellte, ist die synchrotrone Radiostrahlung eine charakteristische Eigenschaft vieler kosmischer Objekte, die. speziell auch die Radiogalaxien auszeichnet. Beispielsweise geht die Radiostrahlung von Cygnus A nicht von der Galaxis selbst aus, sondern von Wolken relativistischer Teilchen, die sich in einem Abstand von rund einer Million Lichtjahren auf verschiedenen Seiten der Galaxis befinden.
Die Intensität der Radioquelle Cygnus A warf außerdem die Frage auf, woher die Energie stammt, die notwendig ist, um eine gewaltige Menge von Elektronen auf relativistische Geschwindigkeiten zu beschleunigen. Aus Berechnungen folgt, daß die Gesamtenergie der relativistischen Elektronen, die die Radiostrahlung von Cygnus A hervorbringen, dutzendfach größer ist als die Anziehungskraft aller Sterne, die zu dieser Radiogalaxis gehören. Über die Quelle dieser Energie bei Cygnus A wie auch bei den anderen Radiogalaxien gibt es mehrere Hypothesen. Heute neigen die meisten Astrophysiker zu der Auffassung, daß diese Quelle aktive physikalische Prozesse in den Kernen der Radiogalaxien sind.
Aus astronomischen Beobachtungen folgt, daß in den zentralen Teilen der meisten uns bekannten Galaxien kompakte Gebilde, Kerne genannt, mit ziemlich starkem Magnetfeld vorliegen. Auf diese Kerne entfällt vielfach ein erheblicher Teil der Gesamtstrahlung der Galaxis.
Wenn auch, nach Spektralbeobachtungen zu urteilen, an der Zusammensetzung der Kerne Sterne wie auch diffuse Materie beteiligt sind, unterscheiden sie sich doch in ihren physikalischen Eigenschaften und den in ihnen ablaufenden physikalischen Prozessen deutlich von den übrigen Teilen der Galaxien. In manchen Kernen finden stürmische nichtstationäre Vorgänge statt, die von außergewöhnlichen physikalischen Erscheinungen begleitet sind.
In der Galaxis M 82 (NGC 3034) wurde zum Beispiel entdeckt, daß sich von ihrem Kern aus nach allen Seiten Gasströme mit einer Geschwindigkeit bis zu 1500 km/s ausbreiten. Offenbar hängt das mit einer Explosion zusammen, die dort vor langer Zeit stattgefunden und eine kolossale Energiemenge freigesetzt hat. Eine besondere Klasse von Galaxien, die 1943 von dem amerikanischen Astronomen C. K. Seyfert entdeckt wurde, zeichnet sich durch sehr breite Wasserstoffemissionslinien im Spektrum ihrer Kerne aus. Die Kerne dieser Seyfert-Galaxien sind sehr klein und in ihrer Größe den .Quasaren vergleichbar. Ebenso wie diese haben sie eine außerordentlich starke elektromagnetische Strahlung. Das Gas bewegt sich

in ihnen mit Geschwindigkeiten, die einige tausend Kilometer in der Sekunde erreichen. Viele Seyfert-Galaxien schleudern kompakte Gaswolken mit einer Masse aus, die Dutzenden und Hunderten von Sonnenmassen entspricht. Dabei werden ungeheure Energiemengen frei.
Eine weitere Klasse von Galaxien mit einem aktiven Kern, der sich durch abnorm starke Ultraviolettstrahlung auszeichnet, entdeckte der sowjetische Astronom B. J. Martscheni. Offenbar befindet sich ein Großteil dieser Galaxien gegenwärtig in einer Epoche, die als posteruptives Stadium bezeichnet wird.
Mit speziellen radioastronomischen Geräten wurden die zentralen Gebiete vieler Galaxien einschließlich unserer Galaxis untersucht. Im Kern unserer Galaxis befindet sich danach eine große Radioquelle von rund 1000 Lichtjahren Durchmesser, in der eine kompaktere Quelle mit 10 Lichtjahren Durchmesser und in dieser wieder eine dritte Quelle festgestellt wurde, die nur rund 7 astronomische Einheiten Durchmesser hat (1 AE = mittlere Entfernung der Erde von der Sonne = 149,6 Millionen km). Diese dritte Quelle liefert den Hauptteil der Radiostrahlung von einer Intensität, die das Zehnmillionenfache der Gesamtstrahlung der Sonne beträgt. Wenn jedoch die Energie, auf die die Radiostrahlung der Radiogalaxien zurückzuführen ist, aus der Aktivität ihrer Kerne resultiert, erhebt sich eine nächste Frage: Welcher physikalische Prozeß bringt diese Aktivität hervor? Das ist ein zentrales Problem der heutigen Astrophysik, das noch nicht, völlig gelöst ist. Manches läßt sich jedoch in der Wissenschaft klären, indem man das eine Unbekannte mit einem anderen Unbekannten vergleicht. Und hier kommen wir nun auf die Quasare zu sprechen.
Als diese typischen Vertreter der immer seltsamer werdenden Welt entdeckt wurden, entstand natürlich die Frage nach ihrer physikalischen Natur. Wie Spektraluntersuchungen ergaben, enthalten die Quasare nicht nur Wasserstoff, sondern auch Kohlenstoff, Sauerstoff, Natrium, Mangan, Silizium und andere chemische Elemente, die gewöhnlich in der Atmosphäre der Sterne vorliegen. Mit Sternspektren verglichen, zeigen jedoch die Spektren der Quasare eine wesentlich intensivere Strahlung im Infrarot- und im Ultraviolettbereich. Außerdem wurde festgestellt, daß es in den Quasaren heißes Gas von sehr geringer Dichte, aber auch dichte Gaswolken gibt, die sich mit Geschwindigkeiten von Zehntausenden Kilometern je Sekunde bewegen. Anfangs vermutete man, die Quasare seien nichts anderes als sehr dichte Sternhaufen, was jedoch, wie sich bald erwies, nicht mit den Beobachtungen übereinstimmte. Zudem blieb völlig unklar, auf welche Weise derartige Sternhaufen überhaupt entstehen können, wofür

niemand einen physikalischen Mechanismus vorzuschlagen vermochte.
Weit verbreitet war eine Hypothese, die die Quasare als besondere Gaskörper, als »Supersterne«, betrachtete. Aber auch sie stieß auf ernsthafte Schwierigkeiten. Solch ein Gaskörper muß nach der heutigen physikalischen Theorie instabil sein, kann also nicht genügend lange Zeit existieren. In einem derartigen Objekt können infolge der relativ geringen Temperaturen keine thermonuklearen Reaktionen stattfinden. Dieser Körper könnte nur als Folge einer Kontraktion leuchten und hätte sehr geringe Vorräte, die nur einige Jahre reichen würden. Alle Versuche, ein theoretisches Schema auszuarbeiten, mit dessen Hilfe sich die Beobachtungsdaten befriedigend erklären ließen, scheiterten.
Kurzum: Es ist bis heute nicht gelungen, die physikalische Natur der Quasare zu klären und festzustellen, welche physikalischen Prozesse zur Freisetzung derart riesiger Energiemengen führen könnten. Um größere Klarheit zu gewinnen, muß wohl zunächst eine andere Frage beantwortet werden: Welchen Platz nehmen die Quasare unter den anderen kosmischen Objekten ein? Sind sie völlig einzigartige Gebilde, eine Ausnahme aus der allgemeinen Regel, oder sind sie eine bestimmte gesetzmäßige Etappe in der Entwicklung der kosmischen Systeme von den frühen Stadien der Ausdehnung des Weltalls bis zur Formung der Galaxien?
Diese Fragestellung ist bezeichnend für den Geist der modernen Astrophysik. Während man noch vor kurzem hauptsächlich die physikalischen Parameter untersuchte, die den derzeitigen Zustand eines Objekts bestimmen, ist heute die Erforschung seiner Geschichte, seiner vorangegangenen Zustände, die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten seiner Entstehung und Entwicklung in den Vordergrund getreten. Man ist sich endgültig der fundamentalen Tatsache bewußt geworden, daß wir in einem sich ausdehnenden, nichtstationären Weltall leben, dessen Vergangenheit sich von seinem heutigen Zustand und dessen heutiger Zustand sich von seinem künftigen unterscheidet. Außerdem wurden in den vergangenen Jahrzehnten im Weltraum nichtstationäre Prozesse und Erscheinungen entdeckt, die von tiefgreifenden qualitativen Veränderungen begleitet sind sowie - astronomisch gesehen - in relativ kurzer Zeit ablaufen. So wurde die moderne Atomphysik zu einer zutiefst evolutionären Wissenschaft.
Welche Rolle spielen nun die Quasare bei dieser Evolution der Materie? Schon vor längerer Zeit lenkten Astronomen die Aufmerksamkeit auf. eine gewisse Ähnlichkeit zwischen diesen Objekten und den besonders aktiven Kernen mancher Galaxien.
Die Quasare sind, wie wir bereits wissen, sehr weit entfernte Objekte. Je

weiter ein Objekt von uns entfernt ist, in desto tieferer Vergangenheit beobachten wir es. Die Galaxien einschließlich derjenigen mit aktivem Kern sind im Mittel weniger weit entfernt. Es sind also Objekte einer Generation, die sich später als die Quasare gebildet haben müssen. Sind also die Quasare vielleicht Kerne künftiger Galaxien, »Keime«, um die herum in der Folgezeit auf irgendeine Weise Dutzende und Hunderte von Milliarden Sterne entstehen und die »Sterninseln« des Weltalls bilden?

Direkte Befunde zugunsten solch eines unmittelbaren Zusammenhangs zwischen Quasaren und Galaxien gab es zunächst nicht, bis vor einiger Zeit eine aufschlußreiche Entdeckung gemacht wurde. Wenn auch von der Röntgenastronomie erst im folgenden Kapitel die Rede sein wird, müssen wir hier doch etwas vorgreifen. In der Ebene unserer Galaxis wurde eine bis dahin unbekannte Röntgenquelle entdeckt. Wie gewöhnlich in solchen Fällen begannen die Astronomen nach einem optischen Objekt zu suchen, das sich am Ort der Röntgenquelle befindet. Und tatsächlich wurde dort ein bislang unbemerkt gebliebener Stern gefunden: In unserer Galaxis befinden sich in der Richtung, in der er steht, große Mengen interstellaren Staubes, die das Licht stark absorbieren und damit die scheinbare Helligkeit kosmischer Objekte herabsetzen.

Wie die weitere Untersuchung des Sterns zeigte, ähnelt seine Strahlung stark derjenigen der Quasare. So wurde der uns am nächsten stehende Stern, also ein Quasar, entdeckt, den wir in einer weniger weit zurückliegenden Vergangenheit als die wesentlich weiter entfernten anderen Quasare beobachten können. Damit war die Annahme gerechtfertigt, daß man hier auf einen Quasar in einem späteren Entwicklungsstadium gestoßen war. Aus den vorläufigen Ergebnissen sehr subtiler Untersuchungen kann geschlossen werden, daß sich an dieser Stelle eine riesige elliptische Galaxis befindet, deren Kern der neuentdeckte Quasar ist. Das bedarf natürlich noch einer sehr sorgfältigen Prüfung. Falls sich die Annahme aber bestätigt, wird das eine Bekräftigung des unmittelbaren evolutionären Zusammenhangs zwischen den Quasaren und den Kernen der Galaxien sein.

Die Frage nach der Natur der physikalischen Prozesse, die die ungeheure Energie der Quasare hervorbringen, bleibt natürlich offen. Durch eine Bestätigung der obigen Annahme würde jedoch die Erforschung dieses fundamentalen Problems erleichtert, denn die physikalische Natur der in den Quasaren und den aktiven Kernen von Galaxien vor sich gehenden Prozesse könnte dann im Prinzip die gleiche sein.

Akademiemitglied Wiktor Ambarzumjan hat seinerzeit eine Hypothese auf–

gestellt, die die aktiven Erscheinungen in den Kernen von Galaxien damit in Zusammenhang brachte, daß dort extrem dichte Körper von unbekannter physikalischer Natur vorliegen.
Weite Verbreitung in der Astrophysik erlangt andererseits neuerdings der Gedanke der Schwarzen Löcher; Das sind Objekte, die infolge eines Gravitationskollapses großer Massen entstehen können und eine ungeheure Dichte haben müssen. Darauf fußt die Annahme, daß in den zentralen Teilen der Galaxien derartige Schwarze Löcher vorliegen, die die Energiequellen für die Aktivität der Kerne dieser Sternsysteme sind.
Zur Registrierung kosmischer Erscheinungen mit Hilfe optischer Teleskope werden in jüngster Zeit neben der Fotografie hochempfindliche Fernsehkameras eingesetzt. Sie können viel schwächere kosmische Objekte registrieren als Fotoplatten. Es wurden auch spezielle Geräte entwickelt, die bei der Beobachtung von gestreckten Objekten, etwa einer fernen Galaxis, mit Hilfe von Photonenzählern die Strahlung gleichzeitig an vielen Punkten solcher Objekte registrieren.
Die neuen Untersuchungsmethoden im Verein mit dem Einsatz der elektronischen Rechentechnik zur schnellsten Verarbeitung der Beobachtungsdaten ermöglichen es im Prinzip, die Verteilung der Massen (einschließlich der unsichtbaren nichtleuchtenden Materie) in den Galaxien bis in deren zentrale Teile zu verfolgen. Mit diesen Methoden untersuchte unlängst in den USA eine Gruppe von Astrophysikern die Galaxis NGC 4486 - M 87 (Radioquelle Virgo A), die schon seit langem die Aufmerksamkeit auf sich zieht. Auf Fotos von dieser Galaxis ist deutlich ein heller Gasstrom mit einer Ausdehnung von rund 6000 Lichtjahren zu erkennen. Er wird vom Kern ausgeschleudert und besteht aus einzelnen Gasfetzen, die eine Gesamtmasse von rund 10 Millionen Sonnenmassen haben und sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 3000 km/s bewegen. Die obengenannten Beobachtungen hatten nun ein sehr interessantes Ergebnis: Während die Materiemenge in der Galaxis M 87 in gewissem Abstand vom Kern der gewöhnlichen stellaren Form entspricht, ist in der unmittelbaren Nähe des Zentrums in einem Gebiet von rund 3000 Lichtjahren Durchmesser eine schwach oder auch überhaupt nicht leuchtende kolossale Masse konzentriert, die 5 Milliarden Sonnenmassen entspricht. Möglicherweise ist das ein gigantisches Schwarzes Loch oder ein anderes superdichtes Gebilde von uns noch unbekannter Natur.
Die Radioastronomie erschloß also der Forschung eine völlig neue Seite der kosmischen Prozesse und führte zur Entdeckung einer Reihe ganz außergewöhnlicher Erscheinungen. Natürlich ist es unzulässig, jede nur

irgendwie ungewohnte Erscheinung sofort der »seltsamen Welt« zuzurechnen, denn der erste Eindruck kann trügerisch sein. Es muß also zunächst sorgfältig geprüft werden, ob man nicht nur auf eine etwas ungewöhnliche Erscheinungsform bereits gutbekannter Gesetzmäßigkeiten gestoßen ist. Das ist gewiß gleichfalls lehrreich, aber durchaus kein Anlaß, fundamentale Theorien zu revidieren.

Seit einigen Jahren beobachtet man zum Beispiel ein und dieselben Radioquellen mit großen Radioteleskopen, die beträchtlichen Abstand voneinander haben. Dabei wurde festgestellt, daß von den Quasaren und aus Kernen von Galaxien Wolken geladener Teilchen mit ungeheuren Geschwindigkeiten ausgeschleudert wurden. Sie lagen in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit oder übertrafen diese sogar in manchen Fällen.

Wie war das zu verstehen? Werfen wir damit vielleicht einen Blick ins Jenseits der Anwendbarkeitsgrenze der speziellen Relativitätstheorie? Keineswegs! Die von den Quasaren ausgeschleuderten Wolken bewegen sich zwar ganz außergewöhnlich schnell, aber doch mit Geschwindigkeiten, die unter der des Lichts liegen. Wenn diese Bewegung aber unter einem gewissen Winkel zu unserem Sehstrahl verläuft, beobachten wir faktisch ihre Projektion auf eine Ebene senkrecht zur Beobachtungslinie. Und wenn diese scheinbare Bewegung nun unter Berücksichtigung von Effekten, die aus der Relativitätstheorie folgen, berechnet wird, kann sie die Lichtgeschwindigkeit um ein mehrfaches übertreffen. Das ist aber dann nicht die tatsächliche, sondern eben die scheinbare Geschwindigkeit.

Das unsichtbare Weltall

Der Raumraketentechnik ist es zu danken, daß die Astronomie heute das gesamte Spektrum der elektromagnetischen kosmischen Strahlung untersuchen kann. Dadurch wurden drei neue Spektralbereiche erschlossen: die Infrarot-, die Ultraviolett- und die Röntgen- einschließlich der Gammastrahlung. Die Röntgenstrahlung war uns in der »vorkosmischen« Epoche absolut unzugänglich. Die Astronomen stellten daher hohe Erwartungen an die »transatmosphärische« Astronomie und wurden nicht enttäuscht. Im Konferenzsaal des Staatlichen Astronomischen Sternberg-Instituts findet eine für unsere Zeit insofern sehr bezeichnende Beratung

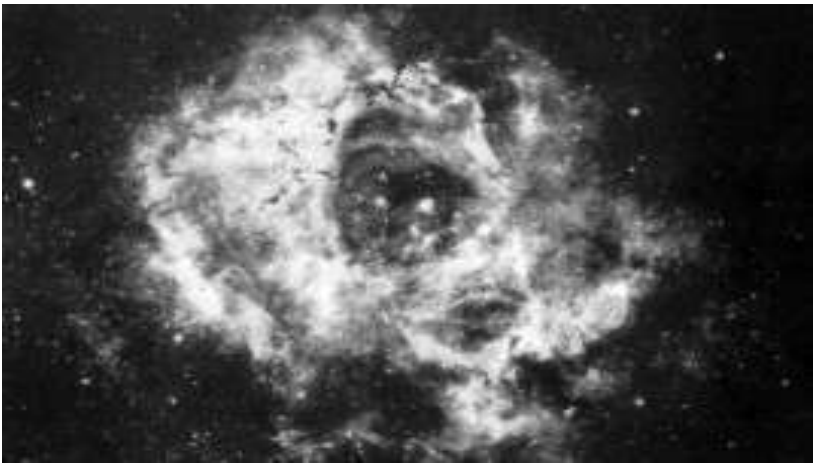
statt, als daran nicht nur Astronomen, sondern auch Vertreter der Raum–fahrt teilnehmen. Anwesend sind Konstrukteure von Raumfahrtsystemen und Mitarbeiter des Instituts für Raumforschung wie auch Kosmonauten, die an Bord von Raumflugkörpern selbst astrophysikalische Beobachtungen durchgeführt haben.

W. G. Kurt, Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, gibt einen Überblick über den heutigen Stand der Röntgen - und Gammaastro–nomie.

»Die Untersuchung von Röntgenquellen im Weltraum begann 1962«, sagt er, »als die erste mit einem kleinen Geigerzähler ausgestattete Rakete in die oberen Schichten der Atmosphäre aufstieg. An den Röntgenbeobachtungen beteiligten sich dann in der Folgezeit zahlreiche Raumflugkörper der Sowjetunion, der USA und einiger anderer Länder. Bisher wurden rund vierhundert Röntgenquellen entdeckt. Welche kosmischen Objekte verbergen sich dahinter? Von welchen physikalischen Prozessen wird die Röntgenstrahlung hervorgebracht? Das Bild ist recht vielfältig. Das können aufflammende Supernovae sein, deren expandierende Hüllen das umgebende Plasma auf sehr hohe Temperaturen aufheizen, aber es kann sich auch um Neutronensterne, um die Bewegung von Materiewolken in einem Magnetfeld und um einiges andere handeln.«

Der Redner zeichnet ein geradezu spannendes Bild vom »Röntgenhimmel«. Rund 200 Röntgenquellen konnten den einen oder anderen bekannten kosmischen Objekten zugeordnet werden, von denen viele extragalaktisch sind: Quasare, explodierende Galaxien und auf 100 Millionen Grad erhitztes Gas in Galaxienhaufen. Solche Haufen sind gegenwärtig rund 30 bekannt, aber es sind sehr schwache Quellen. Um die Zahl der beobachtbaren Röntgenobjekte dieser Art wesentlich zu erhöhen, bedarf es größerer Röntgenteleskope. Zur Zeit betragen ihre Ausmaße etwa 50 cm x 50 cm, aber projektiert sind bereits solche von 100x 100 cm Größe, und für die Zukunft kann man Röntgendetektoren von 300 cm x 300 cm erwarten.

Eine sehr interessante Entdeckung waren die sogenannten temporären Röntgenquellen: Objekte, von denen plötzlich eine an Intensität allmählich zunehmende Röntgenstrahlung ausgeht, die dann wieder abnimmt. Das erste Objekt dieser Art war die im April 1962 entdeckte Röntgenquelle Centaurus X-2. Im selben Sternbild befindet sich auch das im Dezember 1972 entdeckte besonders aufschlußreiche Objekt A 1118-61, das nur 10 Tage lang beobachtet werden konnte. Die periodischen Schwankungen seiner »Röntgenhelligkeit« erfolgten in einem Intervall von etwa 7 Minuten. Das war demnach ein Röntgenpulsar, ebenso wie die im April 1975 im Centaurus



Rosettennebel im Sternbild Einhorn

registrierte Röntgenquelle A 0535-26. Ein bisher einmaliges Rönteenobiekt flammte schließlich am 3. August 1975 im Sternbild Monoceros (Einhorn) auf (A 0620-00). Es war zunächst kaum feststellbar. Die Intensität nahm aber rasch zu, lag bereits nach 5 Tagen über derjenigen der stärksten Röntgenquelle - Scorpius X-1 - und erreichte nach 5 weiteren Tagen das Fünffache derselben. So etwas war in der gesamten Zeit der Röntgen–beobachtung des Weltraums noch nicht registriert worden.

Einige Tage später konnte die Röntgenquelle A 0620-00 als sehr schwacher Stern identifiziert werden, dessen Entfernung von der Sonne relativ gering ist. Aus den sich über mehrere Monate erstreckenden Untersuchungen der Spektren dieses Sterns ergeben sich Anhaltspunkte für die mögliche physikalische Natur der temporären Röntgenquellen. Wenn deren Röntgenstrahlung eine Folge explosiver Prozesse wäre, müßten in den Spektren Emissionslinien auftreten. Im Spektrum der Röntgenquelle A 0620-00 erschienen solche Linien zwar, aber erst nach zwei Monaten und zudem sehr schwach.

Im Zusammenhang damit neigen viele Astrophysiker zu der Ansicht, daß die Entstehung der temporären Röntgenquellen auf physikalische Prozesse in Systemen aus zwei Komponenten zurückzuführen ist, deren eine ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch ist, das die vom zweiten Stern ausgeschleuderte Materie einfängt. Diese Erscheinung erhielt die Bezeichnung «Accretion«. Man nimmt an, daß diese Accretion (= Zuwachs)

aus irgendeinem Grund von Zeit zu Zeit stärker wird und so das Aufflammen der Röntgenstrahlung bewirkt. Natürlich kann es sich in Wirklichkeit auch anders verhalten. Aber vorläufig gibt es noch keine andere Erklärung für die physikalische Natur der temporären Röntgenquellen. Ihre Erforschung steht aber erst ganz am Anfang.

Was nun die kosmische Gammastrahlung betrifft, so sind alle bisher entdeckten Quellen sehr schwach. Um hier voranzukommen, werden sehr großflächige Detektoren sowie eine lange Exposition von einigen tausend Stunden gebraucht.

Die von Raumflugkörpern aus betriebenen Gammabeobachtungen haben bisher erst zur Registrierung von relativ wenigen Quellen geführt. Eine der interessantesten ist der Krebsnebel, der Überrest einer Supernova.

Die erstmals vor einigen Jahren registrierten Ausbrüche von Gammastrahlen sind eine relativ seltene, vorläufig noch völlig rätselhafte Erscheinung. Sie steht nach einer Hypothese sowjetischer Forscher mit den Neutronensternen in Verbindung. Zunächst muß jedoch vor allem geklärt werden, wo sich die Quellen der rätselhaften Gammaausbrüche befinden, denn dann würde sich vielleicht die Frage beantworten lassen, um welche Objekte es sich konkret handelt. Die sowjetischen interplanetaren Stationen Venus 11 und Venus 12 hatten Geräte für Beobachtungen dieser Art an Bord. Der Vergleich dieser Ergebnisse mit denen, die gleichzeitig von Erdsatelliten aus gewonnen wurden, wird es ermöglichen, die Richtungen zu ermitteln, aus denen diese Gammastrahlung kommt.

Zu registrieren ist auch eine allgemeine Röntgen - und Gammastrahlung des Weltraums, die nicht an diskrete Quellen gebunden ist. Auch die Herkunft dieser Raumstrahlung ist weitgehend unklar. Vielleicht handelt es sich dabei um eine Reliktstrahlung, sozusagen um ein Erbe aus früheren Stadien der Ausdehnung des Weltalls, als die Materie sehr hohe Temperaturen hatte. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, daß diese Raumstrahlung nichts anderes ist als die Summe zahlreicher schwacher Quellen, deren Strahlen sich «aufeinanderlegen«. Nach einer dritten Variante könnte es die Strahlung eines heißen intergalaktischen Gases sein.

Gravitationswellen

Da das Vordringen in die seltsame Welt der astrophysikalischen Erscheinungen eng mit der Ausnutzung neuer Informationsträger zusammenhängt, muß hier ein weiterer, wenn auch vorläufig noch völlig hypothetischer Bote genannt werden. Das sind die Gravitationswellen.

Die Möglichkeit ihres Vorhandenseins folgt aus der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins. Wir haben bisher keinerlei Anlaß, an dieser Theorie zu zweifeln. Eine ganze Reihe von Vorhersagen kosmischer und physikalischer Erscheinungen, die diese Theorie gemacht hat, sind durch Beobachtungen und Experimente bekräftigt worden. Dazu gehört auch eine derart fundamentale Erscheinung wie die Ausdehnung des Weltalls. Wir dürfen deshalb zu Recht erwarten, daß sich auch andere Vorhersagen der allgemeinen Relativitätstheorie, so auch die der Gravitationswellen, bewahrheiten.

Elektromagnetische Wellen entstehen bei Erregung eines elektrischen oder eines Magnetfeldes. Eine analoge Erscheinung muß im Prinzip auch bei Erregung eines Gravitationsfeldes auftreten. Gravitationswellen können zum Beispiel Doppelsterne — zwei Sterne, die sich um ein gemeinsames Massezentrum bewegen -oder auch ein Zusammenstoß zweier Sterne hervorbringen. Offenbar ist es auch möglich, daß sie beim Aufflammen einer Supernova sowie bei einer katastrophalen Verdichtung unter Schwerkraftwirkung, einem sogenannten Gravitationskollaps, entstehen.

Mein Besuch in der Physikalischen Fakultät der Universität Moskau auf den Leninbergen gilt Professor W. B. Braginski. Ich will mit ihm über das Problem der Gravitationswellen sprechen, weil darüber in einem Sammelband geschrieben werden soll, der sich mit aktuellen Problemen der modernen Naturwissenschaft befaßt. Ich frage:

»Welche wissenschaftliche Bedeutung hätte die Entdeckung von Gravitationswellen?«

»Zunächst würde damit die allgemeine Relativitätstheorie eine weitere Bestätigung erhalten.«

Der hochgewachsene Braginski mit der Figur eines Athleten ist schnell und energisch in seinen Bewegungen, und auch seine Antworten kommen rasch. Man spürt, daß sie das Ergebnis eines tiefen Eindringens in das Wesen des Problems sind.

»Können die Gravitationswellen eine Quelle neuer Informationen über kosmische Erscheinungen sein?«

»Die von außerirdischen Quellen stammenden Gravitationswellen können, falls sie entdeckt werden, zu einem sehr wichtigen Kanal für astrophysikalische Informationen werden. Durch sie könnten wir beispielsweise aufschlußreiche Daten über den Gravitationskollaps von Sternen, über die Zerstreuung von Materie durch kosmische Objekte sowie über die Dynamik vieler anderer kosmischer Vorgänge erhalten.«
»Wäre es mit Hilfe der Gravitationswellen im Prinzip möglich, in die Vergangenheit des Weltalls zu blicken?«
»Ja, diese Wellen können einzigartige Informationen über die ersten Augenblicke der Ausdehnung des Weltalls bringen, als die Dichte noch so groß war, daß sich keinerlei andere uns bekannte Informationsträger ausbreiten konnten.«
»Sie sagten, «falls sie entdeckt werden«. Wie ist das zu verstehen? Oder können die Gravitationswellen nicht als zwangsläufige Folgerung aus der allgemeinen Relativitätstheorie angesehen werden?«
»Das ist es ja eben. Die Gravitationswellen sind keine eindeutige Folgerung aus der Einsteinschen Theorie. Auf dem Weg von den Gleichungen dieser Theorie zu diesem Schluß werden verschiedene physikalische Annahmen gemacht. Dabei halten manche Wissenschaftler diese Annahmen für völlig gerechtfertigt, während andere gegenteiliger Ansicht sind. Ich selbst bin der Meinung, daß es Gravitationswellen gibt. Endgültiger Richter in diesem Streit kann natürlich nur das Experiment sein.«
Das ist nun der passende Augenblick, eine Frage zu stellen, die ich unbedingt anbringen muß. Sie bezieht sich auf Experimente des Physikers Professor Weber in den USA: Ist es ihm tatsächlich gelungen, Gravitationswellen zu registrieren?
»Weber konstruierte zwei spezielle Antennen, mit denen er Gravitations–wellen von außerirdischen Quellen auffangen wollte. Um den Einfluß anderer physikalischer Prozesse, zum Beispiel von Erdstößen, auszuschließen, stellte Weber zwei Anlagen im Abstand von tausend Kilometern auf. Berücksichtigt wurden nur Erscheinungen, die beide Detektoren gleichzeitig fixiert hatten. Bereits die ersten Beobachtungsserien brachten mehrere solche Übereinstimmungen. Das löste eine wahre Sensation aus. In anderen Ländern wurden analoge Anlagen gebaut, um die Beobachtungen zu wiederholen. Nach etwa zweieinhalb Jahren war es je–doch noch niemandem gelungen, Webers Ergebnisse zu bestätigen. Er hatte sich also offensichtlich geirrt. Allerdings muß man sagen, daß es sich nicht etwa um einen trivialen Fehler handelte. Es geht hier um monatelange Messungen sehr kleiner physikalischer Größen, um Messungen, die zudem

absolut frei von allen Störungen gehalten werden müssen.«
»Was haben aber dann Webers Geräte registriert?«
Braginski antwortet lebhaft:
»In einem sowjetischen Forschungsinstitut wurde 1972 eine aufschlußreiche Untersuchung durchgeführt. Man gab die Beobachtungsergebnisse Webers in eine EDV-Anlage ein, dazu Daten über den Verlauf einiger anderer Naturprozesse im gleichen Zeitabschnitt, zum Beispiel über die Schwankungen des Magnetfeldes der Erde, der Sonnenfleckenhäufigkeit und über Sonneneruptionen. Es zeigte sich ein bestimmter Zusammenhang zwischen all diesen Erscheinungen und den Beobachtungen Webers. Eine im Anschluß daran von USA-Wissenschaftlern angestellte analoge Untersuchung hatte dasselbe Resultat.«
»Und was meinen Sie zu der Mitteilung, es sei Weber gelungen, Gravitationswellen zu registrieren, die vom Zentrum unserer Galaxis ausgehen?«
»Wie gesagt, Weber, hat es offensichtlich gar nicht mit Gravitationswellen zu tun gehabt. Aber im Prinzip können die im Zentrum unserer Galaxis vor sich gehenden physikalischen Prozesse wahrscheinlich eine Gravitationsstrahlung hervorbringen. Wenn diese jedoch tatsächlich dergestalt wäre, wie Weber sie registriert haben will, hätte sich der gesamte zentrale Teil des Milchstraßensystems, wie aus Berechnungen folgt, in nur hunderttausend Jahren in Gravitationsstrahlung umwandeln müssen. Der Widerspruch zum Alter unserer Galaxis liegt auf der Hand.«
»Welche Perspektiven haben Untersuchungen über Gravitationswellen?«
»In verschiedenen Ländern, auch in der Sowjetunion, wird intensiv an der Entwicklung von noch empfindlicheren Empfangsanlagen für Gravitationswellen gearbeitet. Ich glaube, die nahe Zukunft wird uns hier neue Resultate bringen.«

Die Sonne — ein Black-box

Alles, was wir heute über die Sonne wissen, wurde hauptsächlich aus der Erforschung ihrer elektromagnetischen und ihrer Teilchenstrahlung gewonnen. Diese entstehen jedoch in den äußeren Schichten der Sonne. Die Sonne aber ist ein ganzheitliches physikalisches System. Was an ihrer Oberfläche vor sich geht, widerspiegelt in gewissem Maß Tiefenprozesse,

die sich im Innern der Sonne abspielen, aber eben nur »in gewissem Maß«. Der Zusammenhang zwischen Tiefen- und Oberflächenprozessen ist sehr kompliziert und keineswegs unmittelbar.

Andererseits kennen wir keine äußeren Einflüsse, die den Verlauf von Sonnenprozessen ändern könnten. In der Sprache der Kybernetik ist die Sonne ein Black-box (schwarzer Kasten) ohne Eingang. Daraus resultiert die höchst komplizierte Aufgabe, den Inhalt dieses Black-box allein aufgrund von Ausgangswerten, Ausgangssignalen zu enthüllen.

Wir nutzen die Sonnenenergie buchstäblich auf Schritt und Tritt: wenn wir essen, wenn wir heizen usw. In der Nahrung wie in den Brennstoffen ist umgewandelte Sonnenenergie gespeichert. Allein das muß zur Erforschung der physikalischen Vorgänge auf und in der Sonne anregen. Welche Quellen hat die Sonnenenergie?

Außerdem sind nach den heutigen Erkenntnissen rund 98 Prozent der Materie in den Sternen konzentriert. Da die Sonne der uns nächste und der Erforschung zugänglichste Fixstern ist, sind die Probleme der Sonnenphysik von allgemeiner Bedeutung. Im Grunde geht es dabei um die Energetik des Weltalls. Die Erforschung der physikalischen Prozesse, durch die im Innern der Sterne Energie erzeugt wird, ist einerseits eng mit der Erkenntnis der Gesetze vom Bau der Materie und andererseits mit der Klärung der Entstehung und Evolution der kosmischen Objekte verbunden. Außerdem können als Ergebnis weiterer Forschungen auf diesem Gebiet neue Energiequellen für die Menschheit entdeckt werden, die künftig große praktische Bedeutung erlangen. Der deutsche Physiker Hans Albrecht Bethe stellte bereits 1935 die Hypothese auf, daß eine thermonukleare Reaktion die Quelle der Sonnenenergie ist: die Synthese von Helium aus Wasserstoff. Bei dieser Reaktion verschmelzen Kerne von Wasserstoffatomen zu Kernen von Heliumatomen, und es wird eine große Energiemenge frei. Mit Hilfe dieser Hypothese ließen sich nicht nur viele Tatsachen gut erklären. Sie bildete vielmehr auch die Grundlage für quantitative Berechnungen der Evolutionswege der Sterne. Da die Sonne jedoch ein Black-box ist, ist die Vorstellung, daß ihre Energie durch die thermonukleare Synthese von Helium aus Wasserstoff erzeugt wird, strenggenommen nur ein theoretisches Modell. Um sich von der Richtigkeit der Vorstellungen über den inneren Bau der Sonne zu überzeugen, muß man unmittelbare Informationen erhalten, die sich auf die physikalischen Prozesse im Sonneninnern beziehen. Diese Möglichkeit wurde in den letzten Jahren sichtbar und hängt mit der Beobachtung des Neutrinos zusammen.

Ein nicht zu fassendes Teilchen

Der amerikanische Physiker John Bacall, der sich viel mit Berechnungen der physikalischen Prozesse auf der Sonne befaßte, schloß 1967 eine ungewöhnliche Wette ab. Zu dieser Zeit begann man mit Beobachtungen der von der Sonne ausgesandten Neutrinoströme. Bacall wettete nun mit seinen Kollegen, daß die Ergebnisse dieser Beobachtungen seine theoretischen Berechnungen bestätigen würden: Danach sollte jeder Quadratzentimeter der Erdoberfläche je Sekunde von 50 Milliarden Neutrinos passiert werden. Wenn die experimentellen Ergebnisse um nicht mehr als 20 Prozent von dieser Größe abwichen, sollte die Wette für Bacall als gewonnen gelten.

Schon nach der ersten Beobachtungsserie stellte sich heraus, daß Bacall hoffnungslos verloren hatte. Er war freilich nicht der erste, der bei dem Versuch, Erscheinungen im Zusammenhang mit dem Neutrino, einem der erstaunlichsten Elementarteilchen, vorherzusagen, einen Mißerfolg zu verbuchen hatte.

Der erste war Niels Bohr. Ende der dreißiger Jahre stieß man in der Physik bei der Untersuchung des sogenannten Betazerfalls — manche Atomkerne senden beim radioaktiven Zerfall ein Elektron aus und verwandeln sich in einen anderen Kern - auf eine rätselhafte Erscheinung. Die Energie des ausgesandten Elektrons war in manchen Fällen geringer, als aus den theoretischen Berechnungen folgte. Niels Bohr äußerte die »umstürz–lerische« Vermutung, das Gesetz von der Erhaltung der Energie gelte nur im Mittel für eine große Anzahl von Zerfallsprozessen, könne aber bei einzelnen Akten verletzt werden.

Der Schweizer Physiker Wolfgang Pauli wandte sich entschieden gegen Bohrs Zweifel an diesem fundamentalen Gesetz und setzte dem eine kühne Annahme entgegen: Die beim Betazerfall »fehlende« Energie verschwindet nur scheinbar. Sie wird in Wirklichkeit von einem noch unbekannten Teilchen getragen, das nur in sehr schwache Wechselwirkungen tritt und daher unbemerkt geblieben ist. Die Zukunft gab Pauli recht. Bohr hatte sich geirrt. Der direkte Nachweis des neuen Teilchens gelang allerdings erst 1956.

1956 verlor Richard Feynman, einer der bedeutendsten Theoretiker unserer Zeit, eine Wette, die unmittelbar mit den Eigenschaften des Neutrinos zusammenhing. Er wettete 50 gegen einen Dollar, daß in physikalischen

Prozessen volle Symmetrie, volle »Gleichberechtigung« von Rechts und Links herrsche. Nicht weniger entschieden äußerte sich Wolfgang Pauli. »Ich glaube nicht«, schrieb er in einem Brief, «daß Gott ein schwacher Linkshänder ist, und bin bereit, jede Summe dafür zu wetten, daß Experimente Resultate liefern werden, die die volle Symmetrie beweisen.« Ob Pauli solch eine Wette einging, ist nicht bekannt. Von Feynman aber berichten Augenzeugen, er habe nach Abschluß der Wette ein betont nachdenkliches Gesicht gemacht und erklärt, wofür er den einen Dollar am besten ausgeben werde. Soweit kam es jedoch gar nicht, denn die amerikanische Physikerin Professor Wu bewies überzeugend, daß die Rechts-Links-Symmetrie bei manchen physikalischen Prozessen verletzt wird.

Das von Pauli vorhergesagte geheimnisvolle Teilchen erwies sich als durchaus würdiger Vertreter der seltsamen Welt. Es bewegt sich stets mit einer Geschwindigkeit, die genau der des Lichts im Vakuum entspricht, und hat daher, wie der Physiker sagt, keine Ruhemasse. Außerdem besitzt es keine elektrische Ladung und tritt nur in extrem schwache Wechselwirkungen. Das neue Teilchen erhielt deshalb von dem italienischen Physiker Enrico Fermi den italienischen Namen »Neutrino« - »kleines Neutrales«.

Um sich eine Vorstellung vom Durchdringungs–vermögen der Neutrinos zu bilden, kann man einen Vergleich anstellen.

Zur Abschirmung von Röntgenstrahlen genügt eine relativ dünne Bleiplatte; eine einige Meter dicke Betonschicht schützt zuverlässig vor radioaktiver Strahlung, und um sich auch von den energiereichsten Teilchen der kosmischen Strahlung abzuschirmen, brauchte man sich nur mehrere hundert, höchstens einige tausend Meter unter die Erdoberfläche zu begeben. Zum vollen Schutz vor Neutrinos müßten jedoch 10 Milliarden Erdkugeln hintereinandergereiht werden. Erst solch ein Hindernis könnte diesen alles durchdringenden Teilchen den Weg mit Sicherheit versperren.

Angesichts dieser Eigenschaften nimmt es nicht wunder, daß die Erforschung der in der einen oder anderen Weise mit Neutrinos zusammenhängenden Probleme reich an kühnen Hypothesen und an Fragezeichen ist. Zu diesen Problemen gehört auch das der Energie im Innern der Sonne und der Sterne.

Aus der Theorie, daß die Quelle dieser Energie eine im Innern der Sonne vor sich gehende thermonukleare Synthese ist, folgt, daß Neutrinos in großer Menge freigesetzt werden müssen. Die Energie der Sonnenneutrinos und die Intensität der Neutrinoströme hängen unmittelbar vom Charakter dieser

Reaktionen ab. Nachdem die Neutrinos mit Leichtigkeit die Schicht der Sonnenmaterie durchdrungen haben, fliegen sie in den Weltraum, und ein bestimmter Teil von ihnen erreicht bereits nach acht Minuten die Erde. Diese Neutrinos können uns demnach faktisch unverzüglich über Prozesse informieren, die tief im Sonneninnern ablaufen. Die Photonen der elektromagnetischen Strahlung, die im Sonneninnern entstehen, haben auf ihrem Weg zur Oberfläche eine riesige Zahl von Zusammenstößen und Wechselwirkungen. Viele Male werden sie absorbiert und wieder ausgestrahlt. Und wenn sie dann schließlich nach langem Umherirren in der Sonnenmaterie in den freien Raum austreten, haben sie ihr ursprüngliches Gesicht verloren und ihre Herkunft sozusagen vergessen.

Die Anzahl der zur Erde gelangenden Sonnenneutrinos läßt sich annähernd berechnen. Da sich die Sonne als Ganzes in thermischem Gleichgewicht befindet, muß die im Lauf einer gewissen Zeit in ihrem Innern entstehende Wärmemenge in einem annähernd gleichen Zeitraum von der Oberfläche ausgestrahlt werden. Folglich läßt sich aus der Intensität der Sonnenstrahlung die Geschwindigkeit der thermonuklearen Reaktionen im Sonneninnern berechnen, woraus sich dann die mittlere Anzahl der Neutrinos ergibt, die die Sonne in diesem Zeitabschnitt verlassen. Heutigen Berechnungen zufolge müssen, falls die Thermonuklearhypothese zutrifft, je Sekunde bis zu 100 Milliarden Neutrinos jeden Quadratzentimeter der Erdoberfläche durchdringen. Wenn es uns also gelänge, Sonnenneutrinos »einzufangen« und die Intensität des Neutrinostroms zu ermitteln, könnten wir ins Sonneninnere blicken und prüfen, ob die Annahme richtig ist, daß die Sonne ihre Energie aus thermonuklearen Reaktionen schöpft. Diese Aufgabe ist jedoch außerordentlich schwierig, denn infolge ihres gewaltigen Durchdringungsvermögens lassen sich Neutrinos, wie gesagt, nur sehr schwer registrieren. Der bedeutende sowjetische Physiker Bruno Pontecorvo schlug seinerzeit vor, zu diesem Zweck die Wechselwirkung des Neutrinos mit einem Kern des Chlorisotops, das das Atomgewicht 37 hat, auszunutzen. Solch ein Chlorkern verwandelt sich nach dem Einfangen eines Neutrinos in das Argonisotop 37. Dieses ist radioaktiv, zerfällt mit der Zeit und läßt sich nachweisen.

Wenn nun ein Neutrinostrom einen mit einer Chlorverbindung gefüllten Tank passiert, muß ein bestimmter, wenn auch sehr geringer Prozentsatz der Sonnenneutrinos in Wechselwirkung mit Chloratomen treten und diese in Atome des radioaktiven Argons umwandeln. Aus der Zahl dieser Wechselwirkungen läßt sich dann die Stärke des Neutrinostroms errechnen.

Eine Gruppe von USA-Physikern entwickelte vor einigen Jahren für den Neu–

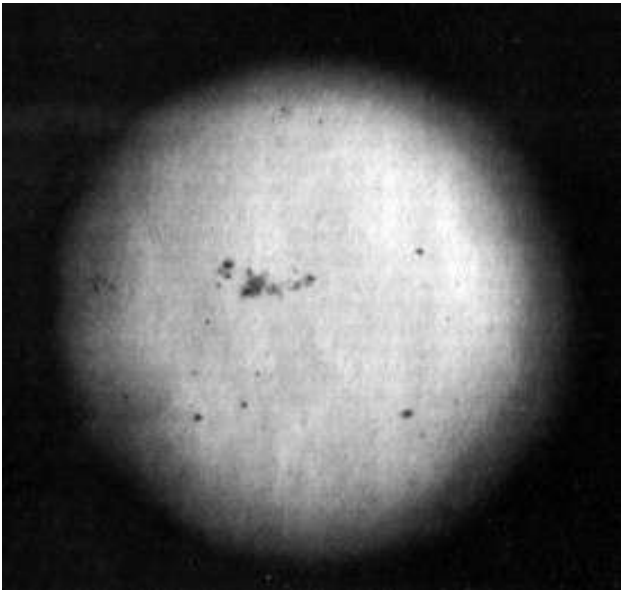
trinonachweis eine komplizierte Anlage, deren Hauptteil ein mit 600 Tonnen Tetrachloräthan gefüllter Tank war. Diese mit einem ganzen System hochempfindlicher Meßvorrichtungen ausgestattete Anlage wurde tief unter der Erdoberfläche in einem Bergwerk untergebracht, um Störungen durch kosmische oder andere Strahlen auszuschalten. Jeder Zyklus dieser unter Leitung von R. Davis stehenden Beobachtungen dauerte anderthalb Monate. Danach wurde mit größter Sorgfalt die Anzahl der in dieser Zeit entstandenen Atome des radioaktiven Argons ermittelt. Die Beobachtungen, die sich über einen langen Zeitraum erstreckten, brachten ein völlig überraschendes Ergebnis: Die Zahl der registrierten Neutrino-Chlor-Argon-Wechselwirkungen war wesentlich geringer als erwartet. Die gewissenhafte Prüfung der Versuchsmethodik brachte keinerlei Hinweise auf Fehlerquellen, sondern erwies im Gegenteil die außerordentliche Exaktheit der Ergebnisse.

Nun traten die Theoretiker auf den Plan. So entwickelte Pontecorvo eine Hypothese, nach der sich Neutrinos des einen Typs auf ihrem Weg von der Sonne zur Erde in Neutrinos eines anderen Typs verwandeln können, die sich dann mit der Chlor-Argon-Methode nicht nachweisen lassen.

Andere Hypothesen beziehen sich auf die Physik der Sonne und gehen zum Beispiel davon aus, daß der »thermonukleare Reaktor« der Sonne im »Impulsbetrieb« arbeitet. Danach soll die thermonukleare Reaktion im Sonneninnern aufgrund gewisser Besonderheiten der dortigen Bedingungen von Zeit zu Zeit zum Erliegen kommen. Die Sonne strahlt dann für längere Zeit auf Kosten des im vorangegangenen Zyklus akkumulierten Energievorrats. In dieser »Pause« der thermonuklearen Reaktion müßten dann die Sonnenneutrinos ausbleiben.

Es ist jedoch noch eine weitere Erklärungsmöglichkeit in Betracht zu ziehen. Im Prinzip ist es nicht ausgeschlossen, daß nicht thermonukleare Reaktionen, sondern andere physikalische Prozesse die Energiequelle der Sonne und der Sterne sind. Daß die Thermonuklearhypothese einer gründlichen Überprüfung bedarf, besagen auch einige andere Ergebnisse der Sonnenforschung aus den letzten Jahren.

Vor einiger Zeit wurde am Astrophysikalischen Krim-Observatorium ein hochempfindliches Gerät zum Messen der außerordentlich schwachen Magnetfelder auf der Sonne entwickelt. Die mit diesem Gerät angestellten Beobachtungen deckten eine hochinteressante Erscheinung auf: ein rhythmisches Pulsieren der Sonnenoberfläche mit einer Periode von rund 2 Stunden 40 Minuten. Bei jeder derartigen Pulsation hebt sich die Sonnenoberfläche um etwa 20 km.



Sonne mit Sonnenflecken

Diese Entdeckung der Krim-Astronomen enthüllt nicht nur einen qualitativ neuen Prozeß auf der Sonne, sondern kann auch neue Informationen über das Sonneninnere liefern. Wie aus theoretischen Berechnungen folgt, hängt die Länge der Pulsationsperiode unmittelbar mit dem inneren Bau der Sonne zusammen. Vorausgesetzt, daß die Schwankungen radial erfolgen und die gesamte Sonnenmasse erfassen, entspricht die Periode von 2 Stunden 40 Minuten einer Temperatur von 6,5 Millionen Grad im Sonneninnern, also nicht von 15 Millionen Grad, wie bislang angenommen. Bei 6,5 Millionen Grad kann jedoch eine thermonukleare Reaktion nicht die tatsächlich zu beobachtende Ausbeute an Sonnenenergie liefern.

Die unter Leitung von Akademiemitglied A. N. Sewerny am Krim-Observatotium gewonnene Erkenntnis der Sonnenpulsation wurde von Beobachtungen englischer Astronomen bestätigt, die sie am bekannten französischen Observatorium auf dem Pic du Midi machten.

Das Problem der Quelle der Sonnenenergie bedarf also der weiteren Erforschung. Dazu sind speziell auch Neutrinobeobachtungen in großem Umfang notwendig. Zu diesem Zweck wird gegenwärtig am Elbrus im Kaukasus in der Baksanschlucht ein Neutrino-Observatorium des Akademie-Instituts für Kernforschung eingerichtet. Hier sollen verschiedene

Detektoren zur Registrierung kosmischer Neutrinos installiert werden.
Im Physikhörsaal des Moskauer Planetariums hält Wadim Kusmin, Kandidat der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, einen Vortrag über Neutrinobeobachtungen. Er spricht gerade von dem neuen Observatorium am Elbrus:
»Stellen Sie sich einen in den Berg hineinführenden, etwa viertausend Meter langen Stollen vor. An seinem Ende wurde eine Zwölftausend Kubikmeter große Höhle ausgehauen, in der ein fünfgeschossiges Haus bequem Platz finden könnte. Eine dort untergebrachte und bereits in Betrieb befindliche riesige Anlage hat eine Vielzahl von Zellen, deren jede mit hundertfünfzig Litern einer besonderen Flüssigkeit gefüllt ist«, erklärt er. »Sie kann unter der Einwirkung geladener Teilchen aufleuchten. Wenn solch eine Zelle von einem geladenen Teilchen passiert wird, entsteht ein winziger Lichtblitz, der von entsprechend empfindlichen Geräten registriert wird.
Welche Teilchen können nun bis in diese tief im Berg gelegene Höhle vordringen? Von oben kommende Teilchen der kosmischen Strahlung werden in ihrer großen Masse von der Gesteinsschicht aufgefangen, wenn auch nicht hundertprozentig. Von unten kann dagegen keinerlei kosmische Strahlung in die Höhle gelangen -die Erde versperrt ihr den Weg. Die einzigen Teilchen, für die die Erdkugel kein Hindernis ist, sind Neutrinos. Sie durchdringen die Erde ohne weiteres und lassen in den unter unserer Anlage liegenden Gesteinsschichten geladene Teilchen entstehen, und diese sind es, für die wir uns interessieren.«
In einem Gespräch nach dem Vortrag sagt Wadim Kusmin:
»Wir haben uns jetzt die Aufgabe gestellt, vor allem Neutrinos zu registrieren, die der heutigen Theorie zufolge im letzten Stadium massereicher Sterne beim Gravitationskollaps entstehen müssen. Solch ein absterbender Stern stürzt in sich zusammen und verwandelt sich entweder in einen Neutronenstern oder in ein Schwarzes Loch. Die dabei entstehenden Neutrinoausbrüche sind, wie aus Berechnungen folgt, sehr kurz und dauern nur etwa zwanzig Sekunden. Außerdem haben wir die wenn auch geringe Hoffnung, Neutrinos hoher Energie zu beobachten, die irgendwo im Weltraum als Ergebnis gewaltiger Prozesse entstehen könnten.« Kusmin fügt hinzu: «Besonders ungeduldig warten wir dennoch auf die Resultate der neuen Beobachtungen von Sonnenneutrinos.«
Die größten Hoffnungen setzt man im neuen Neutrino-Observatorium in einen von Wadim Kusmin vorgeschlagenen Galliumdetektor mit einer Masse von rund 40 Tonnen. In der oben beschriebenen Anlage von Davis konnten nur solche Neutrinos registriert werden, die eine größere als die

sogenannte Schwellenenergie von 0,8 MeV haben.
Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß Sonnenneutrinos eine etwas geringere Energie haben. Und gerade diese «schwachen« Neutrinos soll der Galliumdetektor einfangen. Wenn diese Neutrinos auf Kerne eines Galliumisotops treffen, verwandeln sie diese in Kerne eines radioaktiven Germaniumisotops. Diese lassen sich abtrennen und zählen, woraus dann die Intensität des Neutrinostroms ermittelt werden kann.
Die Galliummethode hat einen weiteren wesentlichen Vorzug. Falls im Sonneninnern tatsächlich thermonukleare Reaktionen ablaufen, kann die Geschwindigkeit der Bildung des Germaniumisotops im Galliumdetektor unabhängig von den Modellvorstellungen vom Bau der Sonne absolut genau festgestellt werden.
»Wie soll aber nun das Germanium aus dem Galliumdetektor isoliert werden?« fragte ich Wadim Kusmin.
»Das ist durchaus möglich, allein schon deshalb, weil der Schmelzpunkt von Gallium bei 30 °C, derjenige von Germanium aber bei 958 °C liegt. An dieser Aufgabe arbeiten gegenwärtig einige Forschergruppen. Welche Methode am effektivsten ist, wird die Zukunft zeigen.«
So ist also nun unsere gewohnte und alltägliche Sonne ganz unerwartet zu einer Vertreterin der seltsamen Welt geworden und gibt uns ein fundamentales Rätsel auf. Seine Lösung kann in unseren Vorstellungen von der Physik des Weltalls vieles klären, auch Probleme, die jeden von uns unmittelbar betreffen. Die seltsame Welt ist eben nicht irgend etwas Fernes, das wir gewissermaßen von außen erforschen, sondern das Haus, in dem wir wohnen. Die Sonne, das Sonnensystem, die Erde, der Mensch selbst -das alles ist miteinander verbunden, vom Kosmos, von den Umwandlungen der kosmischen Materie hervorgebracht sowie den fundamentalen kosmischen Gesetzen unterworfen, die auch in unserer Zeit nach wie vor im Weltall wirken und die uns deshalb nicht gleichgültig sein können. Und in unserem kosmischen Haus gibt es noch vieles, was wir nicht wissen.
Nehmen wir zum Beispiel unsere Abhängigkeit von der Sonne, von ihrem Licht und ihrer Wärme. Das ist natürlich allgemein bekannt. Es geht aber auch um die «unsichtbaren«, die nicht augenscheinlichen Verbindungen. Gewiß ist hier vieles umstritten, aber die Frage nach solchen Zusammenhängen ist nicht nur berechtigt, sondern notwendig. Dafür sprechen allein schon philosophische Erwägungen, zum Beispiel über den allgemeinen wechselseitigen Zusammenhang der Erscheinungen. Sorgfältigste Untersuchung verlangt jedenfalls der Einfluß, den die verschiedenen Formen der Sonnentätigkeit auf die Biosphäre der Erde haben.

Hier scheint es eine ganze Reihe von Abhängigkeiten zu geben. Wir verfügen jedoch gegenwärtig nur über statistische Daten, aus denen folgt, daß zwischen den Schwankungen der Sonnenaktivität und manchen geophysikalischen und anderen Erscheinungen, speziell auch in der Biosphäre, eine Verbindung, eine Korrelation besteht. Der physikalische Mechanismus hierfür liegt jedoch für uns noch im dunkeln. Es gehört zweifelsfrei zu den aktuellen Aufgaben der Naturwissenschaft, die damit verbundenen Probleme zu klären, zumal das von großer Bedeutung für Leben und Gesundheit des Menschen sein kann.

Das überraschende Weltall

Nacht für Nacht, Jahr für Jahr sehen wir über uns die gleichen Sterne, die gleichen Sternbilder. Nichts ändert sich daran. Bei oberflächlicher Betrachtung könnte man meinen, es gebe in der uns umgebenden Welt nichts Beständigeres, nichts, was so unwandelbar ist wie der Sternhimmel. So entsteht der Eindruck, daß das Weltall immer so gewesen ist und so bleiben wird.

Aber dieser Eindruck trügt. In der Vergangenheit hat das Weltall ganz anders ausgesehen: Es gab weder Planeten noch Fixsterne noch Galaxien, und die Materie, aus der diese später hervorgegangen sind, war im Zustand extremer Dichte. Die Fixsterne haben nur scheinbar eine unveränderliche Stellung. Die Galaxien, diese riesigen Sterninseln, bewegen sich mit ungeheurer Geschwindigkeit in verschiedenen Richtungen. Wir leben in einem sich ausdehnenden Weltall.

Diese Erkenntnis ist ein Ergebnis theoretischer Untersuchungen wie auch astronomischer Beobachtungen.

Bei einer Analyse der Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins stieß der sowjetische Mathematiker Alexander Friedmann auf einen von Einstein selbst übersehenen Umstand: Diese Gleichungen haben keine stationären Lösungen, und folglich kann auch das Weltall, das sie beschreiben, nicht stationär sein. Es muß sich entweder ausdehnen oder zusammenziehen oder auch pulsieren.

Unabhängig von Friedmann entdeckte der amerikanische Astronom Edwin P. Hubble in den Spektren der Galaxien eine Rotverschiebung der Spektral–

linien, deren Größe mit der Entfernung der Galaxien zunimmt. Nach dem bekannten Dopplereffekt bedeutet das, daß sich alle Galaxien in radialer Richtung von uns entfernen. Je weiter eine Galaxis von uns entfernt ist, desto schneller bewegt sie sich relativ zu uns.
Jahrelang wurden beharrlich Versuche unternommen, die Rotverschiebung nicht mit einer von uns wegführenden Bewegung zu erklären, sondern auf andere Ursachen zurückzuführen. Und das, obwohl immer neue und neue Befunde die Ausdehnung des Weltalls bestätigten. Das ist ein anschauliches Beispiel für das Beharrungsvermögen des Denkens.
Erst in jüngster Zeit sind derartige Versuche faktisch eingestellt worden. Dazu trug die Entdeckung einiger Erscheinungen bei, die es uns ermöglichen, gewissermaßen in die Vergangenheit der Metagalaxis zu blicken und ihre früheren Zustände unmittelbar zu beobachten. Einen besonderen Platz nehmen hier die Untersuchungen der sogenannten Reststrahlung ein. Sie entstand einige hunderttausend Jahre nach Beginn der Expansion, als das Medium hinreichend durchlässig wurde und die Photonen der elektromagnetischen Strahlung sich frei in allen Richtungen ausbreiten konnten. Die elektromagnetische Strahlung riß sich gewissermaßen von der Materie los, begann unabhängig von ihr zu existieren und füllte allmählich den gesamten Weltraum.
Die in ihren Grundzügen von dem Physiker Georgi Gamow ausgearbeitete Theorie des sich ausdehnenden heißen Weltalls unterscheidet einige Stadien oder Epochen, die die Materie bei ihrer Evolution vom Zeitpunkt des Beginns bis heute durchlaufen hat.
Das »Hadronenstadium«, das erste, dauerte vom Beginn der Ausdehnung an 10^{-6} Sekunden. Die Temperatur überstieg in diesem Stadium 10^{13} K. Es fand eine sehr intensive Bewegung statt, in der massereiche Teilchen, Hadronen, entstanden und vernichtet wurden. Ganz am Anfang dieses Stadiums hatten Quanteneffekte große Bedeutung. Aus dem Vakuum entstanden im elektromagnetischen Wechselfeld intensiv Teilchen.
Im folgenden Stadium sank die Temperatur, und der weitaus größte Teil der massereichen Teilchen und Antiteilchen wurde annihiliert, übrig blieb nur eine geringe Menge Protonen und Neutronen, dazu kamen sehr viele leichte Teilchen, Leptonen, besonders Photonen, Elektronen und Positronen, Neutrinos und Antineutrinos.
Am Ende des »Leptonenstadiums«, das von 10^{-6} Sekunden bis zur zehnten Sekunde des Ausgangsmoments andauerte, entstanden Helium und die anderen leichten Elemente. Gerade in diesen ersten Sekunden der Expansion vollzog sich das, was die ganze weitere Entwicklung des Weltalls

bestimmte. Die schweren Elemente bildeten sich später in den Sternen, die Elemente, die schwerer als Eisen sind, beim Aufflammen von Supernovae.
In der Folgezeit, der Ära des Photonenplasmas, die einige hunderttausend Jahre dauerte, ereignete sich nichts Wesentliches. Die Temperatur sank gegen Ende dieser Ära auf 3000 bis 4000 K, und die Dichte entsprach derjenigen von Gammaquanten. Das Plasma wurde neutral und durchlässig, es begann eine intensive Bildung kosmischer Objekte. Gerade über dieses Expansionsstadium kann die Reststrahlung - nach Schklowski »Reliktstrahlung« — sehr wertvolle Informationen liefern.
Diese Strahlung wurde zufällig von den amerikanischen Physikern Arno Penzias und Robert Wilson entdeckt, die dafür 13 Jahre später den Nobelpreis erhielten. Sie arbeiteten 1965 an der Entwicklung eines Systems der Funkverbindung über Erdsatelliten und stießen dabei auf eine unverständliche Störstrahlung mit einer Wellenlänge von 7,3 cm. Nachdem keine irdische oder kosmische Quelle dafür ausfindig gemacht werden konnte, prüften sie mit peinlichster Sorgfalt die gesamte Apparatur in der Vermutung, daß die Störstrahlung in ihr selbst erzeugt werde. Aber auch das blieb erfolglos. Penzias und Wilson wandten sich nun der rätselhaften Strahlung selbst zu und mußten feststellen, daß sie weder von der Antennenstellung noch von der Tages- oder Jahreszeit abhing. So blieb letzten Endes nur der Schluß, daß es sich um eine Reststrahlung handelte, die in einem frühen Stadium der Expansion des Weltalls entstanden ist.
Um der Gerechtigkeit willen muß allerdings festgehalten werden, daß die sowjetischen Astrophysiker I. D. Nowikow und A. G. Doroschkewitsch bereits vor dieser Entdeckung die Möglichkeit der Registrierung solch einer Strahlung theoretisch begründet hatten, was nicht einmal allen Astronomen bekannt ist. Um der Sache auf den Grund zu gehen, entschloß ich mich, Informationen «aus erster Hand« zu erhalten.
Bei der nächsten Begegnung mit Nowikow fragte ich ihn daher direkt nach dieser alten Arbeit. Er war keineswegs erstaunt und hörte diese Frage wohl nicht zum erstenmal.
»Daß es eine Reststrahlung geben muß«, sagte er, »hat bereits Gamow in seiner Theorie des expandierenden heißen Weltalls postuliert. Uns - Andrej Doroschkewitsch und mir - gelang es allerdings wohl als ersten, eine etwas andere Aufgabe zu lösen. Wir stellten Berechnungen an und bezogen das gesamte Spektrum der Strahlung aller heute im Weltall bekannten Quellen unter Berücksichtigung der Entwicklung des Weltalls sowie einige weitere Faktoren ein.

Andromedanebel

So konnten wir klären, wie die Reststrahlung auf dem Hintergrund dieser Gesamtstrahlung aussehen muß. Wir schlossen daraus auf die Möglichkeit, sie im Zentimeter- und Millimeterbereich zu registrieren. Und das ist dann ja bekanntlich einige Zeit später tatsächlich geschehen.«

Wie vielfache Messungen der Intensität der Reststrahlung in verschiedenen Richtungen bewiesen haben, ist sie mit einer Genauigkeit von einigen Prozent homogen und isotrop. Gerade das besagt, daß es sich wirklich um eine Reststrahlung, nicht aber um eine von diskreten Quellen ausgesandte Strahlung handelt. Die Reststrahlung ist eine sehr wichtige, man kann sagen, entscheidende Bestätigung der erstaunlichen Tatsache, daß wir in einer sich ausdehnenden Metagalaxis leben. Hat diese Ausdehnung nun irgendeine Bedeutung nicht nur für die Wissenschaft, sondern sozusagen auch für jeden von uns?

Obwohl die »Fluchtbewegung« der Galaxien, die nur durch höchst genaue astronomische Beobachtungen nachweisbar ist, niemand von uns unmittelbar spürt, steht diese Erscheinung in direkter Beziehung zur Existenz der Menschheit und vor allem zur Entstehung des Lebens auf der Erde.

Die auf die Fluchtbewegung der Galaxien zurückzuführende Rotverschiebung ist eine Verschiebung der elektromagnetischen Strahlung zu längeren Wellen und niedrigeren Frequenzen mit geringerer Energie. Wenn das Weltall nicht expanierte, sondern kontrahierte, wäre in den Spektren der Sternsysteme keine Rot-, sondern eine Violettverschiebung zu beobachten. Das wäre eine Verschiebung zu höheren Frequenzen, und die Strahlungsdichte wäre derart groß, daß es im Weltall kein Leben geben könnte. Es ist also durchaus kein Zufall, daß wir in einem sich ausdehnenden System von Galaxien leben. In frühen Stadien der Expansion und in späten Stadien der Kontraktion ist Leben unmöglich.

Die Expansion des Weltalls ist eine der prägnantesten Erscheinungen der seltsamen Welt. Und nun stellt sich heraus, daß nicht nur das Sonnensystem, sondern auch die seltsame Welt des Kosmos, die sich über Milliarden von Lichtjahren erstreckt, gleichfalls unsere Welt, unser »großes kosmisches Haus« ist.

Das Weltall ist nicht nur als Ganzes nichtstationär. Für viele Entwicklungsphasen der kosmischen Objekte ist es, wie die Untersuchungen der letzten Jahrzehnte gezeigt haben, bezeichnend, daß sie ausgesprochen nichtstationär sind. Wir brauchen hier nur an die Sonneneruptionen, an die Quasare, an die von den Kernen der Galaxien freigesetzten riesigen Energiemengen oder an die im Weltall stattfindenden sprunghaften Übergänge der Materie aus einem physikalischen Zustand in einen anderen zu denken.

Lenin hat wiederholt betont, daß alle Erscheinungen der Welt als Einheit (Identität) von Gegensätzen auftreten. Das »bedeutet Anerkennung (Aufdeckung) widersprechender, einander ausschließender, gegensätzlicher Tendenzen in allen Erscheinungen und Vorgängen der Natur«…*

Jede der gegensätzlichen Seiten eines einheitlichen Ganzen kann sich in ihr Gegenteil verwandeln, die Gegensätze gehen ineinander über. Der Kampf der Gegensätze ist die treibende Kraft der Entwicklung. Hierin liegt der Schlüssel zum Verständnis der nichtstationären Objekte. Diese sind gesetzmäßige Phasen der Evolution der kosmischen Körper und ihrer Systeme.

Die moderne Naturwissenschaft hat die naturphilosophischen Systeme der Vergangenheit, die Lücken im gesicherten Wissen mit spekulativen philosophischen Konstruktionen auszufüllen versuchten, entschieden zurückgewiesen. Wenn die Naturwissenschaft heute für eine Erscheinung noch keine Erklärung hat, entwickelt sie zur Ausfüllung dieser »weißen Flecke« wissenschaftliche Hypothesen.

* W. I. Lenin, Werke, Bd. 38, S. 339

Dabei war und bleibt der dialektische Materialismus ein effektives Instrument der wissenschaftlichen Erkenntnis. Er will nicht etwa die konkreten Aufgaben der Einzelwissenschaften lösen, arbeitet aber die Methodologie der Forschung aus und hilft ihr bei der Wahl der aussichtsreichsten Lösungswege.
Der Gedanke, wie wichtig die nichtstationären Erscheinungen in der Evolution der Materie im Weltall sind, wurde erstmals von Akademie–mitglied Wiktor Ambarzumjan ausgesprochen. Dabei ging er von der dialektisch-materialistischen These aus, daß es in der Natur nicht nur gleichmäßig ablaufende evolutionäre Prozesse, sondern auch qualitative Sprünge gibt.
Überschreiten nun nichtstationäre Erscheinungen den Bereich der heutigen fundamentalen physikalischen Theorien? Diese Frage läßt sich noch nicht beantworten und ist Gegenstand lebhafter Diskussionen.
Akademiemitglied J. B. Seldowitsch, ein bedeutender theoretischer Physiker unserer Zeit, meint beispielsweise, zur Erklärung neuer Befunde brauchen so lange keine prinzipiell neuen Theorien aufgestellt zu werden, wie nicht alle Möglichkeiten der vorliegenden fundamentalen Theorien ausgeschöpft sind.
Einen ähnlichen Standpunkt vertritt auch Akademiemitglied W. L. Ginsburg: Es ist in der Astrophysik kein einziger Fall bekannt, in dem unsere jetzige Physik versagt hätte und der Übergang zu neuen Vorstellungen wirklich notwendig geworden wäre. Insbesondere ist Ginsburg der Ansicht, daß es sich selbst bei so komplizierten Problemen wie der Natur der Quasare und der Kerne der Galaxien .sowie der Ursachen ihrer Aktivität um Erscheinungen handelt, die sich in die jetzige Physik einordnen lassen. Dabei betont Ginsburg, daß eine endgültige Antwort auf die zur Debatte stehenden Fragen nicht durch Überlegungen und Diskussionen gefunden werden könne. Vielmehr werde die weitere Entwicklung der Wissenschaft diese Antwort geben.

Weltall und Kosmologie

Auf den ersten Blick ist es ganz natürlich, das Weltall als gigantisches physikalisches System aus Sternen, Nebeln, Quasaren, Galaxien und anderen Objekten zu betrachten, die miteinander in einer Wechselwirkung stehen.

Aber selbst wenn das Weltall endlich ist, hat seine ungeheure Ausdehnung zur Folge, daß für Wechselwirkungen zwischen seinen einzelnen Gebieten kolossale Zeiträume notwendig sind, die viele Jahrmilliarden erreichen. Jede physikalische Wirkung breitet sich von einem in ein anderes Gebiet des Weltalls mit endlicher Geschwindigkeit aus, die die des Lichts nicht übersteigen kann. Da das Weltall jedoch nichtstationär ist, kann es sein allgemeines Bild im Lauf von Jahrmilliarden wesentlich ändern. Das aber bedeutet, daß der Begriff des einheitlichen physikalischen Systems in Anwendung auf das Weltall seinen gewohnten Sinn verliert.

Mehr noch: Da die verschiedenen Objekte des Weltalls und folglich auch die Massen im Raum ungleichmäßig verteilt sind, kann es sein, daß auch die Zeit in den verschiedenen Gebieten des Weltalls mit unterschiedlicher Geschwindigkeit abläuft. Nach der allgemeinen Relativitätstheorie verlangsamt sich der Zeitablauf im Bereich großer Massen und starker Gravitationsfelder. Ein und dieselben physikalischen Prozesse können daher in verschiedenen Raumgebieten unterschiedlich schnell ablaufen.

Noch komplizierter wird die Situation für den Fall, daß das Weltall rotiert. Überhaupt gibt es in rotierenden Systemen keine einheitliche Gleichzeitigkeit. Wenn wir zum Beispiel auf der rotierenden Erde versuchten, Uhren, die sich an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche befinden, zu synchronisieren, und zu diesem Zweck Zeitsignale auf verschiedenen Wegen von einem Punkt zum anderen senden würden, erhielten wir jedesmal ein anderes Ergebnis; dabei könnte die Differenz zwei Zehnmillionstelsekunden erreichen. Im Weltall jedoch kann die Abweichung von der Gleichzeitigkeit selbst bei sehr langsamer Rotation - eine Umdrehung in Milliarden Jahren - Jahrmilliarden, also eine Größe erreichen, die kosmologischen Zeiträumen vergleichbar ist. Der Zustand eines physikalischen Systems wird aber von der Gesamtheit der Zustände aller seiner Bestandteile zum gleichen Zeitpunkt bestimmt. Bei beträchtlicher Abweichung von der Gleichzeitigkeit verliert demnach der gewohnte Begriff des Zustands eines Systems seinen Sinn. Das Weltall ist folglich kein physikalisches System und hat keinen »Zustand«.

Was hier von den ungewöhnlichen Eigenschaften des Weltalls gesagt wurde, reicht aus, um vorherzusehen, wie ungewohnt und seltsam die theoretischen Beschreibungen sein werden, die sich auf diese Eigenschaften beziehen.

A. L. Selmanow ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Staatlichen Astronomischen Sternberg-Institut und befaßt sich speziell mit der Kosmologie. Ich fragte ihn einmal, ob in der modernen Physik und Astrophy–

sik »verrückte Ideen« eine Daseinsberechtigung hätten, also Hypothesen und Theorien, die allgemein verbreiteten Ansichten schroff widersprechen.
»Der normale Entwicklungsweg der Wissenschaft«, antwortete Selmanow, »besteht in dem Bestreben, jede neue Erscheinung aufgrund schon bekannter Gesetzmäßigkeiten zu erklären. Erst wenn es sicher ist, daß solche Erklärungen unmöglich sind, kommt die Zeit der «verrückten« Ideen. Das tritt zum Beispiel beim Übergang von einer speziellen zur allgemeinen Theorie ein. Es geht hier darum, daß sich allein aus der Art der Gleichungen der speziellen Theorie noch nicht bestimmen läßt, wie die Gleichungen der allgemeinen Theorie sein müssen. Hierzu eben bedarf es »verrückter Ideen«, der Entwicklung völlig neuer Begriffe.«
»Und was kann als Merkmal, als Kriterium dafür dienen, daß der Augenblick der Notwendigkeit solcher Ideen gekommen ist?«
»Wie die Geschichte der Naturwissenschaft zeigt, entsteht manchmal eine Situation, in der es unmöglich ist, alle Fakten, die alten wie die neuen, in das gleiche Schema einzuordnen; die einen Tatsachen widersprechen den anderen. Und das eben ist das Kriterium einer revolutionären Situation in der Physik. Jetzt muß nach prinzipiell neuen Ideen gesucht werden, unter deren Gesichtswinkel die Tatsachen einander nicht mehr widersprechen.«
»Und wenn wir nun die in der modernen Physik entstandene reale Situation betrachten?«
»Es unterliegt offensichtlich keinem Zweifel, daß die moderne Physik verrückte Ideen braucht, um eine einheitliche physikalische Theorie aufzubauen.«
»Und wie steht es damit in der Astrophysik?«
»Die theoretische Astrophysik fußt auf der Physik, und deshalb beziehen sich verrückte Ideen in der Astrophysik unmittelbar auf die Physik: Es sind im wesentlichen dieselben Ideen, die die Physik braucht. Daher läuft die Frage in der Astrophysik auf folgendes hinaus: Können wir die Gesamtheit der gegenwärtig in der Astrophysik bekannten Erscheinungen ohne logische Widersprüche im Rahmen der vorhandenen physikalischen Theorie erklären, oder brauchen wir dazu neue, noch unbekannte physikali–sche Prinzipien, verrückte Ideen, wie sie in der Physik selbst ganz augenscheinlich notwendig sind? Da die wichtigste Quelle empirischer Erkenntnisse in der Astrophysik Beobachtungen, nicht aber Experimente sind, ist diese Frage hier viel schwerer zu beantworten als in der Physik. Bei dem Versuch, die Gesamtheit der entdeckten astrophysikalischen Erscheinungen mit bekannten physikalischen Gesetzen zu erklären, muß man stets die Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit im Auge haben, daß

manche dieser Erscheinungen nur unter dem Gesichtswinkel noch unbekannter neuer physikalischer Prinzipien - eben »verrückter Ideen« -richtig erklärt werden können.«
»Die »verrückten« Ideen sind also im Grunde gar nicht so verrückt?«
»Wenn man recht überlegt, ist das ganz natürlich, denn die »verrückten« Ideen in der Wissenschaft sind letzten Endes nur ungewohnte, bis dahin noch nicht geäußerte Ideen.«
»Der Gedanke einer immer seltsamer werdenden Welt müßte also die Entwicklung der Wissenschaft fördern. Stimmen Sie dem zu?«
»Wir müssen darauf vorbereitet sein, daß wir es beim weiteren Vordringen zum Wesen der Dinge mit .zunehmender Verrücktheit der Grundgedanken zu tun haben werden. Mehr noch: Wenn versucht werden sollte, die in einer kritischen Situation entdeckten neuen Erscheinungen auf der Grundlage früherer Gedanken zu erklären, wird das wahrscheinlich wenig aussichtsreich sein. Die Erwartung »zunehmender Verrücktheit« ist also eine durchaus vernünftige Einstellung, auch wenn das etwas paradox klingt.«
Paradoxe Aussprüche aus dem Mund eines Kosmologen sind aber etwas ganz Natürliches.

Modelle des Weltalls

Vor einigen Jahren entdeckten englische Astronomen des Radio-Observatoriums Jodrell Bank im Sternbild Cygnus (Schwan) einen Pulsar, der im Katalog die Nummer JP 1953 erhielt. Pulsare sind kosmische Objekte, die sehr regelmäßige Radioimpulse aussenden, also eine äußerst genaue Pulsperiode haben. Der erste Pulsar wurde 1967 entdeckt und anfangs allen Ernstes als eine künstliche Radioquelle einer außerirdischen Zivilisation angesehen. Erst nach einiger Zeit konnte festgestellt werden, daß die Pulsare nichts anderes sind als schnell rotierende Neutronensterne. Das es solche, erstaunlichen Vertreter der Sternenwelt gibt, wurde bereits in den dreißiger Jahren von Lew Landau vorhergesagt.
Als Folge ihrer geringen Größe rotieren die Neutronensterne schnell. Daher passiert der von irgendeinem Oberflächengebiet solch eines Sterns ausgehende Radiostrahl periodisch den Raumteil, in dem sich die Erde

befindet, und wird hier auf der Erde als regelmäßige Serie von Radioim–pulsen empfangen. Der Pulsar JP 1953 weckte bald die Aufmerksamkeit durch außergewöhnliche Eigenschaften, die ihn von allen anderen Objekten dieser Art unterschieden. Infolge der Wechselwirkung des rotierenden Neutronensterns mit dem ihn umgebenden Plasma nimmt seine Rotationsgeschwindigkeit allmählich ab und seine Pulsperiode, also der Zeitraum zwischen zwei Pulsen, entsprechend zu. Wenn man die Geschwindigkeit kennt, mit der die Pulsperiode zunimmt, kann man daraus das Alter des Pulsars errechnen. Wie sich herausstellte, beträgt das mittlere Alter dieser kosmischen Objekte ziemlich genau zehn Millionen Jahre.

Der Pulsar JP 1903 im Cygnus zeigte jedoch nahezu keine Veränderung seiner Pulsperiode. Zu diesem Schluß kamen Astronomen, die diesen .Stern mit dem Radioteleskop des Observatoriums Arecibo auf Puerto Rico, dem größten der Welt, beobachteten. Die Pulsperiode änderte sich jedenfalls derart langsam, daß sich nach der oben beschriebenen Berechnungsmethode für den Pulsar JP 1953 ein Mindestalter von sage und schreibe 45 Milliarden Jahren ergab.

45 Milliarden Jahre! Nach den heutigen Vorstellungen sind aber seit Beginn der Expansion des Weltalls bis heute alles in allem nur rund 18 Milliarden Jahre vergangen. Wie können zwei derart widersprüchliche Daten miteinander in Einklang gebracht werden?

Der Direktor des Observatoriums Arecibo, der amerikanische Astronom Frank Drake, soll dazu etwa folgendes gesagt haben: »Es ist sehr wohl möglich, daß es einen kleinen Teil des Weltraums gibt, der jene gigantische Explosion, den Beginn der Entwicklung des Weltalls, in aller Ruhe überlebt hat. In dieser Zone ist die Materie wahrscheinlich aus irgendwelchen Ursachen in ihrer ursprünglichen Form erhalten geblieben.«

Das ist wohl wirklich eine ganz außergewöhnliche Vermutung. Aber vielleicht bedarf es ihrer gar nicht? Wie ermitteln wir denn das Alter des Weltalls? In einer weit zurückliegenden Etappe seiner Geschichte formten sich aus der expandierenden Materie die Sternsysteme, die Galaxien, deren »Fluchtbewegung« sich in allen Richtungen fortsetzt. Wenn man diese Bewegung in Gedanken »zurückdreht«, kann man den Zeitraum ermitteln, der uns vom Beginn der Expansion trennt.

Ist diese Methode aber nicht doch zu einfach? Warum sollte man zum Beispiel nicht annehmen, daß sich das Weltall nicht immer in dem Tempo ausgedehnt hat wie in unserer Zeit? Wenn es aber Zeitabschnitte mit langsamerer Expansion gegeben hat, kann das Weltall älter sein, als sich das aus einer gleichmäßigen Expansion errechnen läßt.

Für solch eine Annahme gibt es gewisse Gründe. Die Quasare, diese erstaunlichen Objekte an der Grenze des für uns beobachtbaren Weltalls, die rund hundertmal mehr Energie ausstrahlen als die größten Galaxien, treten in einer bestimmten Entfernung von uns in besonders großer Zahl auf. In der Astronomie ist aber die Entfernung eines Objekts das Maß dafür, wie weit es in der Vergangenheit liegt: Je weiter entfernt es sich von uns befindet, in desto fernerer Vergangenheit beobachten wir es. Daher bedeutet die Konzentration von Quasaren in einer bestimmten Entfernung von uns, daß es entweder in der Geschichte des Weltalls eine Zeit gegeben hat, in der besonders viele solche Objekte entstanden sind, oder daß die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien in verschiedenen Epochen unterschiedlich gewesen ist.

Die sowjetischen Astronomen J. S. Schklowski und N. S. Kardaschew haben seinerzeit eine entsprechende Hypothese aufgestellt: Die Expansion des Weltalls verlangsamte sich in dem Augenblick, als sein Radius das Gebiet erreicht hatte, in dem die Konzentration der Quasare zu beobachten ist. Etwa 50 Milliarden Jahre lang dehnte es sich fast überhaupt nicht mehr aus, und in dieser Zeit konnten sich viele Quasare bilden. Das Weltall kann in diesem Fall ein Alter bis zu 70 Milliarden Jahren haben, so daß in ihm durchaus Objekte vorhanden sein können, die noch viel älter sind als der Quasar JP 1953.

Der Versuch der Astronomen, das Alter des Weltalls zu »verlängern«, gilt übrigens nicht so sehr dem Bestreben, in diesem Zeitraum die einen oder anderen Objekte unterzubringen, als vielmehr einer wesentlich allgemeineren Aufgabe. Wie die Beobachtungen zeigen, ist das heutige Weltall ziemlich homogen und isotrop. Seine Eigenschaften sind also in genügend großen Gebieten annähernd gleich, und es gibt keine »bevorzugten« Richtungen.

Aus diesem Umstand resultiert jedoch ein sehr kompliziertes Problem. Wie wir wissen, können sich physikalische Wirkungen nicht mit einer Geschwindigkeit ausbreiten, die die des Lichts übersteigt. Die Lichtgeschwindigkeit ist endlich und beträgt im Vakuum 300 000 km/s. Daraus folgt unter anderem, daß das der Beobachtung zugängliche Gebiet des Weltalls stets begrenzt ist. Wir können keine Objekte sehen, deren Entfernung von uns größer ist, als sie ein Lichtstrahl zurücklegen konnte, seit das Weltall existiert.

Im Zusammenhang damit spricht man von einem «Horizont«, den wir mit keinerlei technischen Mitteln hinausschieben können, denn er wird nicht von der Vollkommenheit der astronomischen Instrumente, sondern von der

endlichen Geschwindigkeit der Lichtausbreitung bestimmt. Mit zunehmendem Alter des Weltalls wird der optische Horizont selbstverständlich allmählich hinausgeschoben.

Viel wesentlicher ist allerdings etwas anderes: In jedem Expansionsstadium des Weltalls gibt es in ihm Punkte, die durch Entfernungen voneinander getrennt sind, welche die Entfernung des optischen Horizonts überschreiten. Unschwer ist zu erkennen, daß es zwischen solchen Punkten keinerlei Kausalzusammenhang geben kann. Physikalische Prozesse an dem einen Punkt können keinen Einfluß auf Ereignisse an dem anderen Punkt haben.

Wie aus Berechnungen folgt, gehen Lichtstrahlen und Radiowellen aus Randgebieten des beobachtbaren Weltalls, die voneinander einen Winkelabstand von mehr als 30°C haben, aus; von Gebieten also, deren Entfernung voneinander den optischen Horizont überschreitet. Dabei besagen die von den elektromagnetischen Wellen getragenen Informationen, daß die physikalischen Parameter, die den Zustand der Materie an den Grenzen des beobachtbaren Weltalls charakterisieren, überall annähernd gleich sind.

Das ist höchst rätselhaft, denn in dem expandierenden Weltall kann es keinen physikalischen Mechanismus des Ausgleichs von Inhomogenitäten über Entfernungen geben, die den optischen Horizont überschreiten.

In dem von Schklowski und Kardaschew vorgeschlagenen Modell wird diese Schwierigkeit automatisch aufgehoben. Während der langen Expansionspause kann ein Lichtstrahl mehrmals das gesamte Weltall durcheilen, und demnach ist eine Wechselwirkung sogar zwischen den entferntesten Objekten möglich.

Manche Schlüsse aus diesem Weltallmodell werden allerdings von astronomischen Beobachtungen leider nicht bestätigt. Wie ist aber dann die Homogenität zu erklären? Vielleicht haben die Ereignisse, die zum Ausgleich der physikalischen Eigenschaften im expandierenden Weltall führten, bereits in seinen frühesten Stadien stattgefunden?

Die sowjetischen Theoretiker W. A. Belinski, J. M. Lifschiz und I. M. Chalatnikow fanden eine bisher unbekannte Lösung der Ein-steinschen Gleichungen, der zufolge die Expansion des Weltalls, besonders in den frühesten Stadien, schwankende Werte hatte. Danach erfuhr in dieser Zeit jedes elementare Materievolumen nicht nur eine Expansion, sondern oszillierte, wie die Physiker sagen, das heißt dehnte sich aus, zog sich zusammen, dehnte sich wieder aus usw. Auf diese Vorstellung gestützt, entwickelte der amerikanische Wissenschaftler Misner ein physikalisches Weltmodell. Da das Frühstadium des Weltalls in diesem Modell keinen op–

tischen Horizont hat, ist eine Vermischung der Inhomogenitäten, folglich auch ein Ausgleich der physikalischen Bedingungen, möglich. Im Rahmen dieses »Mixmastermodells« kann das Licht die Welt zahlreiche Male in allen Richtungen durcheilen.
Im Mixmastermodell ist die zeitliche Entfernung des Weltalls vom Anfangsaugenblick der Expansion ein schwankender Prozeß, wobei jeder Augenblick der kosmologischen Zeit durch eine unendliche Zahl von Schwankungen vom Anfangsaugenblick getrennt ist. Infolgedessen gibt es in diesem Modell zwar den Anfangsaugenblick T=0, aber das Weltall ist dennoch in dem Sinn zeitlich unendlich, daß in ihm seit dem Anfangs–augenblick eine unendliche Zahl von Ereignissen stattgefunden hat.

Komet Kohoutek

Wir stoßen demnach im Mixmastermodell auf eine paradoxe Situation: Einerseits hat die kosmologische Zeit einen Anfang, andererseits ist sie unendlich. Und je weiter wir in die unendliche Vergangenheit zurückgehen, desto langsamer fließt die Zeit ab. Bezeichnend ist, daß Misner ebenso wie Einstein Zeit und Materie aufs engste verbindet: «Die Materie existiert nicht »im« Raum und »in« der Zeit«, erklärt er, «sie formiert selbst ihren Raum und ihre Zeit.«
Das alles würde ganz gut mit dem Gedanken von der seltsamen Welt übereinstimmen. Leider haben jedoch nachfolgende Berechnungen, hauptsächlich von sowjetischen Astrophysikern, gezeigt, daß die »vermischte Welt« Misners höchst problematisch ist. Man müßte das Weltall mit physikalischen Charekteristika ausstatten, die sehr wenig wahrscheinlich sind. Unter allen anderen Bedingungen kann das Licht die

Welt höchstens einmal durcheilen. Das aber reicht für die von Misner postulierte »Vermischung« offenkundig nicht aus. Wenn aber keine Vermischung stattfindet, scheitert auch das Misnersche Modell, denn das wirkliche Weltall ist eben homogen. Die meisten Theoretiker neigen daher heute zu der Auffassung, daß das Weltall vom ersten Augenblick der Expansion an durch Homogenität und Isotropie ausgezeichnet war.
Wenn aber weder das Modell mit der Expansionspause noch das Mixmastermodell zutreffen - was ist dann mit dem Pulsar JP 1953? Sollte man sich vielleicht doch der von Drake geäußerten Variante zuwenden, zumal sie einer immer seltsamer werdenden Welt durchaus würdig ist? Zunächst liegt jedoch die Vermutung nahe, daß bei der Berechnung des Alters dieses rätselhaften Pulsars irgendein Irrtum unterlaufen ist, wie das die Astrophysiker heute wohl zumeist annehmen. Letzten Endes geht es freilich gar nicht so sehr um diesen Pulsar, denn zyklische Weltmodelle gibt es auch ohne ihn, und weitere werden entwickelt.
1949 hielt der berühmte Mathematiker Kurt Gödel an der Universität Princeton, wo Einstein tätig war, einen Vortrag zu dem Thema »Die Zeit in der allgemeinen Relativitätstheorie.« Darin bewies er die Möglichkeit zeitlich geschlossener geodätischer Linien für eine gewisse Klasse von Weltmodellen.
Aus der Sprache der Relativitätstheorie in die gewöhnliche Sprache übersetzt bedeutet das, daß das Weltall unter gewissen Bedingungen zu seinem Ausgangszustand zurückkehren und in der Folgezeit die bereits durchlaufenen Zyklen Mal um Mal genau wiederholen kann.
Wenn solch ein zyklisches Modell der Realität entspräche, würde das heißen, daß der Expansion des Weltalls seine Kontraktion bis auf eine extrem hohe Dichte folgen müßte. Dann würde eine neue Expansion beginnen, in deren Verlauf die gleichen kosmischen Objekte einschließlich - auf einer bestimmten Etappe -der Erde gebildet würden. Auf der Erde würden sich dieselben Ereignisse wiederholen, Menschen würden entstehen und sich entwickeln und ihr Leben führen, genau wie im vorherigen Zyklus. Und das alles unendlich viele Male.
Falls das Gödelsche Modell mit der Wirklichkeit übereinstimmt, wäre alles, was wir in der Welt beobachten, schon einmal dagewesen, und nicht nur einmal… Das ist eine Situation, .die sich wohl noch nicht einmal Verfasser wissenschaftlich-phantastischer Romane zunutze gemacht haben.
Albert Einstein war bei dem Vortrag Gödels zugegen. Es ist aber heute schwer, seine tatsächliche Einstellung zu Gödels Gedanken zu beurteilen, denn die Erinnerungen der Augenzeugen sind widersprüchlich. Die einen

meinen, der große Physiker habe in der Diskussion zum Ausdruck gebracht, die von Gödel dargelegten Resultate würden ihm nicht gefallen. Nach anderen Augenzeugen jedoch habe er im Gegenteil die Gedanken Gödels mit einer gewissen Sympathie aufgenommen.

Jahre später untersuchte der bedeutende indische Physiker S. Chandra–sekhar eingehend das Gödelsche Modell und kam zu dem Schluß, daß die in ihm entstehenden geschlossenen Trajektorien des physikalischen Sinns entbehren. Chandrasekhar bediente sich dabei allerdings der Methode der »physikalisch vernünftigen« Wahl, und diese ist stets mit willkürlichen intuitiven Annahmen verbunden, weshalb man ihr nicht voll vertrauen kann. Zur Vorsieht gemahnt freilich auch, daß das Weltmodell Gödels paradoxe Eigenschaften haben muß. Solche Begriffe beispielsweise wie »früher als« und »später als« verlieren in ihm ihren Sinn, das aber heißt im Grunde, daß solche fundamentalen Eigenschaften der Zeit wie einheitliche Richtung und Unumkehrbarkeit ihre Bedeutung einbüßen.

Es geht aber schließlich gar nicht darum, ob das Gödelsche Modell richtig oder unrichtig ist. (Nach allem zu urteilen, ist es unrichtig.) Dieses Modell ist nur ein spezieller Fall, und es gibt noch andere Modelle, die den Gleichungen der Relativitätstheorie genügen und geschlossene Zeitlinien enthalten.

Dazu hat Chandrasekhar gesagt: »Daß die von Gödel beschriebene Situation der Rückkehr in die Vergangenheit sich nicht in das von ihm vorgeschlagene Modell einfügt, schließt nicht aus, daß es solch eine Möglichkeit im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie gibt. Natürlich wäre es gut, die Unmöglichkeit geschlossener zeitartiger geodätischer Linien für den allgemeinen Fall zu beweisen, aber heute kann man nur sagen, daß sich das von Gödel angeführte spezielle Beispiel als unrichtig erwiesen hat.«

Jedenfalls ist noch niemandem der Beweis dafür gelungen, daß solche Modelle den Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie widersprechen. Anders ausgedrückt: Daraus, daß eine zyklische Rückkehr des Weltalls in die Vergangenheit nach dem von Gödel vorgeschlagenen speziellen Modell unmöglich ist, folgt noch nicht, daß eine Welt mit geschlossenen Zeitlinien nicht existieren kann. Das müßte erst bewiesen werden.

Die Möglichkeit eines zyklischen Weltalls räumt übrigens auch Drake ein: »Wenn unser Pulsar tatsächlich ein Überrest eines alten Weltalls ist, wer will dann wohl behaupten, daß es vor diesem Weltall nicht noch ein weiteres Weltall, davor ein anderes usw. gegeben hat?«

Während ein sich wiederholendes Weltall im Sinn Gödels vorläufig eine sehr wenig wahrscheinliche Möglichkeit bleibt, die formal nicht widerlegt, aber auch durch nichts bestätigt ist, so sind doch andere zyklische Modelle detaillierter ausgearbeitet. Nach diesen Modellen pulsiert das Weltall und durchläuft dabei zyklisch das Stadium eines aufs äußerste zusammengeballten, dichten heißen Plasmas.

Ein derartiges theoretisches Weltall hat auch der in Cambridge (USA) tätige Astronom Davis ausgearbeitet. Darin wechselt die Zeit in jedem Zyklus ihre Richtung ins Gegenteil, und zwischen zwei Zyklen liegt in der Periode der maximalen Kontraktion ein Bereich, in dem die Zeit richtungslos ist. Was das physikalisch bedeutet, ist schwer zu sagen, denn in der modernen Physik und Astrophysik sind die Probleme, die mit dem Verhalten der Materie unter extremen Bedingungen, speziell auch bei sehr hoher Dichte, zusammenhängen, erst sehr wenig bearbeitet worden. Aufschlußreich ist jedoch, daß im Modell von Davis gewisse physikalische Prozesse durch den Bereich der maximalen Kontraktion hindurch aus einem Zyklus in den nächsten übertreten können, wobei selbstverständlich eine entsprechende »Umarbeitung« erfolgt. Gerade unter diesem Gesichtswinkel versucht Davis die uns schon bekannte Reststrahlung zu deuten.

Die Reststrahlung muß der Theorie nach in einem Frühstadium der Expansion des Weltalls entstanden sein und den gesamten Raum gleichmäßig füllen. Die Entdeckung dieser Strahlung wird deshalb in der Astrophysik als gewichtiger Beweis für den »Urknall« und überhaupt für die theoretische Konzeption eines expandierenden heißen Weltalls angesehen.

Demgegenüber erhält die Reststrahlung im Modell von Davis eine ganz andere und zudem überraschende Bedeutung. Sie ist danach kein Bote aus der Vergangenheit, sondern ein Widerhall der Zukunft, wenn man sich so ausdrücken darf. Man könnte auch sagen, sie ist die »Radio-Morgenröte« jenes Evolutionszyklus des Weltalls, der erst in der Zukunft kommen wird. Das ist nun schon eine ganz und gar seltsame Welt! Ganz zu schweigen davon, daß im Modell von Davis ein Grundprinzip der modernen Naturwissenschaft verletzt wird: Die Folgen können ihren Ursachen nicht vorausgehen.

Ein weiterer Versuch zu einer Lösung der mit der zeitlichen Entwicklung des Weltalls verbundenen Probleme wurde von John Wheeler, einem Schüler Einsteins, unternommen. Er steht in einem gewissen Gegensatz zum Modell von Davis und zu den anderen zyklischen Modellen. Auch in Wheelers Modell pulsiert das Weltall — zieht sich zusammen, dehnt sich

aus —, aber jedesmal entsteht es in neuer Form aus einer extrem dichten Zusammenballung, mit neuen charakteristischen Parametern und sogar mit einer neuen Reihe von Elementarteilchen. Mehr noch: Im Weltall Wheelers gibt es keine Zeit im üblichen Sinn des Wortes, weder Gegenwart noch Zukunft.

Selbstverständlich ist niemand so kühn, zu behaupten, daß die Modelle von Davis oder Wheeler oder entsprechende andere eine exakte Beschreibung unseres Weltalls sind, worauf sie auch keinen Anspruch erheben. Wir sind auf der Suche. Neue Richtungen werden ertastet, verschiedene Gedanken werden beurteilt und neu beurteilt, neue Erscheinungen gedeutet.

Der Wert der Weltmodelle auf der heutigen Entwicklungsetappe der Kosmologie wird weniger vom Grad ihrer Übereinstimmung mit der tatsächlichen Sachlage als vielmehr von ihrem heuristischen Charakter bestimmt. Sie regen an zur Suche nach neuen Raum-Zeit-Vorstellungen, nach unbekannten fundamentalen physikalischen Gesetzen, nach neuen Formen von Kausalzusammenhängen.

Weltall und Neutrino

Wir haben bereits wiederholt direkt oder indirekt auf die enge Verbindung zwischen Physik und Astrophysik hingewiesen. Einerseits wird das Weltall zu einem Laboratorium der modernen Physik. Andererseits üben neue physikalische Entdeckungen, die mehr oder weniger auf astrophysikalische Untersuchungen oder astronomische Probleme zurückzuführen sind, zwangsläufig ihren Einfluß auf die weitere Entwicklung astronomischer Vorstellungen aus. Das ist eine Art Rückkopplung in den wechselseitigen Beziehungen und im gegenseitigen Durchdringen dieser Wissenschaften, das ist die Dialektik der Erkenntnis.

Wie wir bereits wissen, gibt es unter den in der heutigen Physik bekannten Elementarteilchen ein ganz erstaunliches, das Neutrino. Nach den lange Zeit herrschenden theoretischen Vorstellungen hat das Neutrino, wie gesagt, keine Ruhemasse und bewegt sich stets genau mit Lichtgeschwindigkeit. Die Theorie verbietet jedoch auch keineswegs die Möglichkeit, daß das Neutrino eine von Null verschiedene Masse hat. Dieser Umstand veranlaßte eine Gruppe von Wissenschaftlern am Institut für theoretische und ange–

wandte Physik der Akademie der Wissenschaften der UdSSR zu einer Reihe von Versuchen, die die tatsächliche Größe der Masse der sogenannten Elektron-Neutrinos klären sollten. Das zunächst noch als vorläufig zu wertende Resultat erregte Aufsehen: Die Wissenschaftler kamen zu dem Schluß, daß die Masse des Neutrinos nicht gleich Null ist, sondern in Ehergieeinheiten rund 30 eV beträgt. Das ist gewiß keine große Masse: 1/30000 bis 1/10000 der Masse eines Elektrons. Aber die Tatsache an sich hat, wenn sie sich bestätigen sollte, sehr ernste Folgen für unsere Vorstellungen vom Weltall.

Vor allem eröffnet sich eine neue Möglichkeit, das negative Ergebnis der Experimente zu erklären, die der Registrierung von Sonnenneutrinos galten. Es gibt in der Natur drei Typen von Neutrinos. Wie die Theoretiker annehmen, können sich Neutrinos des einen Typs mit einer von Null verschiedenen Masse spontan in solche eines anderen Typs verwandeln. Man kann sich daher vorstellen, daß diejenigen Neutrinos, die im Sonneninnern entstehen und zu deren Registrierung die heutigen Detektoren bestimmt sind, sich auf dem Weg zur Erde in Neutrinos verwandeln, die von diesen Detektoren nicht registriert werden können.

Die Existenz von Neutrinos mit einer endlichen Masse würde auch zu starken Veränderungen in kosmologischen Vorstellungen führen. Wie oben bereits gesagt, hängen die geometrischen Eigenschaften des Weltalls aufs engste mit der mittleren Massedichte zusammen. Wenn diese Dichte einen gewissen kritischen Wert -etwa zehn Protonen je Kubikmeter - überschreitet, ist das Weltall geschlossen und endlich. Im Einklang mit den bisher vorliegenden astrophysikalischen Befunden wird angenommen, daß die tatsächliche mittlere Dichte unter dem kritischen Wert liegt. Diese Annahme könnte von den Neutrinos erheblich korrigiert werden. Nach vorliegenden Berechnungen entfallen im Weltall auf ein Proton rund eine Milliarde Neutrinos. (Man geht von Protonen aus, weil der Wasserstoff das in der Natur am weitesten verbreitete Element ist.) Wenn also das Neutrino tatsächlich eine endliche Masse hat und diese auch nur einige Zehnmilli–onstel der Masse eines Protons beträgt, übersteigt die Gesamtmasse der Neutrinos im Weltall etwa dreißigmal die Masse der «gewöhnlichen« Materie. Es kann sich herausstellen, daß alle Sterne, Planeten und Nebel, alle Galaxien nur eine geringfügige »Zugabe« zur Masse der Neutrinos im Weltall sind. Das aber würde bedeuten, daß die mittlere Dichte des Weltalls weit über dem kritischen Wert liegt. Folglich wäre das Weltall abgeschlossen und endlich, und seine Expansion müßte mit der Zeit — nach vielen Jahrmilliarden - von einer Kontraktion abgelöst werden.

Das ist aber noch nicht alles. Das heutige Weltall ist bekanntlich nur dann homogen, wenn man einen hinreichend großen Maßstab nimmt. Falls man jedoch verhältnismäßig kleine Teile des Raumes betrachtet, ist keine Homogenität feststellbar: Die kosmische Materie ist in den Galaxien und den Galaxienhaufen konzentriert. Nach der Theorie eines expandierenden heißen Weltalls müssen sich diese kosmischen Objekte auf einer bestimmten Etappe der Expansion infolge der Entwicklung von Inhomogenitäten des Mediums gebildet haben. Dieser Prozeß müßte etwa folgenden Verlauf genommen haben: Auf verhältnismäßig frühen Expansionsetappen gab es eine Phase der Inhomogenität mit kleinen Fluktuationen, die als Folge der Gravitationsinstabilität entstanden. In manchen Teilen des Raumes konnte es etwas mehr, in anderen etwas weniger Materie geben. Falls die Elastizi–tätskräfte größer waren als die Gravitationskräfte, konnte die Inhomogenität verschwinden. Wenn jedoch der von den Störungen erfaßte Raum groß genug war, entstand eine Gravitationsinstabilität, und Fluktuationen hinreichend großen Maßstabs mußten zunehmen. Die Hypothese, wonach sich die Galaxien infolge einer Fragmentation des Mediums, die aus einer Gravitationsinstabilität resultierte, gebildet haben, wird von Akademie–mitglied J. B. Seldowitsch und seinen Mitarbeitern vertreten.

Diese Hypothese stößt jedoch auf gewisse Schwierigkeiten. Eine davon hängt mit radioastronomischen Beobachtungsergebnissen zusammen. Das heutige Weltall ist für Quanten der Reststrahlung absolut »durchsichtig«: Sie unterliegen bei ihrer Bewegung faktisch keiner Absorption. Als jedoch alle Maßstäbe in der Vergangenheit etwa nur ein Tausendstel des heutigen Zustands betrugen, wurde die Reststrahlung völlig zerstreut. Falls das Medium zu dieser Zeit völlig homogen war, mußte die Reststrahlung absolut isotrop, mußte ihre Intensität in jeder Richtung gleich sein.

Das heutige Weltall ist jedoch, wie gesagt, keineswegs ideal homogen, denn es gibt die Galaxien und die Galaxienhaufen. Falls sich diese Objekte tatsächlich aus »Keimen« gebildet haben, die unter der Wirkung einer Gravitationsinstabilität entstanden, dann war das kosmische Medium auf der entsprechenden Evolutionsetappe bereits nicht mehr absolut homogen. In diesem Fall kann auch die Reststrahlung nicht absolut isotrop sein, sondern , es müssen in ihr geringe Fluktuationen zu beobachten sein. Um diese festzustellen, wurde die Intensität der Reststrahlung mit großen Radioteleskopen, darunter auch mit dem sowjetischen Radioteleskop RATAN 600, vielfach gemessen. Trotz hochgradiger Genauigkeit konnten jedoch keinerlei Fluktuationen auf dem Niveau festgestellt werden, auf dem sie vorliegen müßten, wenn man bei der Berechnung der Größe der »Keime«

von den Ausmaßen der heutigen Galaxienhaufen ausgeht. So entsteht ein schwer zu lösendes Rätsel. Schließlich müssen sich die Galaxien und die Galaxienhaufen aus irgend etwas gebildet haben. Wenn nicht aus Inhomogenitäten des Mediums, woraus dann? Gegenwärtig sind keine anderen wahrscheinlichen Möglichkeiten erkennbar.
Wenn das Neutrino eine endliche Masse hätte, könnte auch diese Schwierigkeit aufgehoben werden. Auf der frühesten Etappe der Expansion des Weltalls konnten in dem Neutrinogas, das den Raum füllte, kleine zufällige Inhomogenitäten entstehen. In diesem Zeitabschnitt besaßen die Neutrinos jedoch eine sehr hohe Energie und bewegten sich fast mit Lichtgeschwindigkeit. Die Anziehungskräfte der kleinen Verdichtungen reichten nicht aus, um diese Neutrinos festzuhalten. So zerfielen diese Verdichtungen, lösten sich auf.
Mit zunehmender Expansion verminderte sich jedoch die Geschwindigkeit, und rund 300 Jahre nach Expansionsbeginn konnten entsprechend massereiche Verdichtungen bereits Neutrinos einfangen. Diese Verdichtungen mußten eine Masse in der Größenordnung von 10^{15} Sonnenmassen haben. Mit ihren starken Anziehungskräften fingen sie immer neue Neutrinos ein und wurden allmählich immer massereicher, und, nach rund einer Million Jahren erfaßten sie auch gewöhnliche Materie, neutrales Gas. Dieses sammelte sich in den zentralen Teilen der unsichtbaren Neutrinoinhomogenitäten und entwickelte sich zu den Galaxienhaufen, wie wir sie heute beobachten. Aus Berechnungen folgt, daß diese Materie nur einige Zehntel der Masse der Neutrinoverdichtungen hatte.
Der bei weitem überwiegende Teil der Masse der primären Inhomo–genitäten, aus denen in der Folgezeit die Galaxienhaufen hervorgingen, war demnach für die Reststrahlung völlig durchlässig und konnte deren Isotropie nicht stören. Die Masse der zu den Neutrinoinhomogenitäten gehörenden gewöhnlichen Materie reichte demgegenüber offenkundig nicht aus, um in der Reststrahlung solche Fluktuationen hervorzurufen, die mit den heutigen Geräten nachweisbar wären.
Damit wird, wenn das Neutrino eine endliche Masse hat, zugleich der Widerspruch aufgehoben, der zwischen der heutigen Theorie über die Entstehung der Galaxien und den Ergebnissen der Beobachtung der Reststrahlung entstanden ist. Schließlich gibt es ein weiteres sehr wichtiges Problem, zu dessen Lösung es beitragen kann, wenn für das Neutrino eine endliche Masse nachgewiesen wird.
Seit Jahren schon beschäftigt die Astrophysiker das Problem der sogenann–

ten verborgenen Masse. Es geht hier darum, daß man die Masse von Galaxienhaufen nach zwei Methoden ermitteln kann. Erstens geschieht das nach der Leuchtkraft: Je größer die Masse eines Galaxienhaufens ist, desto größer ist die Leuchtkraft. Zweitens kann man auch das Gravitationsgesetz ausnutzen, indem man von den beobachteten relativen Bewegungen der Galaxien zueinander in Galaxienhaufen ausgeht. Die nach den beiden Verfahren ermittelten Massen ein und derselben Galaxienhaufen stimmen jedoch nicht oberem: Die nach dem Gravitationsgesetz berechnete Masse liegt um ein Mehrfaches über der nach der Leuchtkraft ermittelten. Eine mögliche Erklärung dafür liegt in der Annahme, daß es in den Galaxienhaufen nichtleuchtende Objekte gibt, die zwar ihren Beitrag zur Gesamtmasse leisten, aber eben keinerlei Einfluß auf die Leuchtkraft haben. Gerade diese «verborgenen Massen« sind es, die bewirken, daß sich die Galaxien in den Haufen mit hoher Geschwindigkeit voneinander entfernen. Daraus ergibt sich die Frage nach der physikalischen Natur der »verborgenen Massen«.

Man kann annehmen, daß es sich dabei um Gas oder Staub, um schwach leuchtende Sterne oder um Schwarze Löcher handelt. Keine dieser Annahmen kann jedoch eine befriedigende Antwort auf die Frage geben, so daß die Situation bis heute in gewissem Maß unklar ist. Klarheit könnte auch hier das Neutrino bringen. Wenn es eine endliche Masse hat, könnte der Beitrag der Neutrinos zur Gesamtmasse der Galaxienhaufen die rätselhafte Differenz erklären, die bei der Ermittlung ihrer Masse nach unterschiedlichen Verfahren entsteht.

Aber überall steht eben ein Wenn! Wir wenden uns deshalb noch einmal der Frage nach der Masse des Neutrinos zu. Wieweit kann der Schluß als zuverlässig angesehen werden, daß die Neutrinomasse nicht gleich Null ist?

Vermessung von Blasenkammeraufnahmen im Institut für Hochenergiephysik der AdW der DDR am halbautomatischen Meßprojektor HEVAS

Die Existenz des Neutrinos wurde bekanntlich aufgrund der Untersuchung des sogenannten Betazerfalls vorhergesagt. Das ist ein physikalischer Prozeß, bei dem der Kern eines chemischen Elements ein Elektron aussendet und sich in den Kern eines anderen Elements umwandelt. Dabei wurde festgestellt, daß die Energie des ausgesandten Elektrons in manchen Fällen geringer war, als aus den theoretischen Berechnungen folgt. Der bekannte Schweizer Physiker Wolfgang Pauli vermutete, daß die fehlende Energie von einem bis dahin unbekannten neutralen Teilchen mitgenommen wird, dessen Wechselwirkung mit anderen nur schwach ist, so daß das Teilchen unbemerkt geblieben ist. Als dieses Teilchen erwies sich dann das Neutrino.
Derselbe Prozeß des Betazerfalls kann im Prinzip auch als indirekter Indikator dienen, wenn es gilt, die Masse des Neutrinos zu ermitteln. Diesen Weg schlugen sowjetische Physiker ein. Für die Messungen wurde der Betazerfall des Tritiums, des schwersten Wasserstoffisotops, ausgenutzt. Dabei verwandeln sich die Kerne des Tritiums unter Aussendung eines Elektrons in Kerne eines Heliumisotops. Wenn die Masse eines Neutrinos gleich Null ist, muß es unter den von Tritiumkernen ausgesandten Elektronen auch solche geben, die die für diesen Prozeß maximal mögliche Energie besitzen. Für den Fall jedoch, daß das Neutrino eine endliche Masse hat, wird die maximale Energie der ausgesandten Elektronen etwas geringer sein, und die Differenz hängt von der Masse des Neutrinos ab.
Aus den Ergebnissen einer solchen Serie von Versuchen, die am Institut für Theoretische und Experimentelle Physik durchgeführt wurden, konnte der vorläufige Schluß gezogen werden, daß Neutrinos eine von Null verschiedene Masse haben. Auch in den Vereinigten Staaten haben sich in den letzten Jahren Physiker mit dem Problem der Neutrinomasse befaßt. Sie gingen bei ihren Messungen davon aus, daß sich bei Vorhandensein einer endlichen Masse Neutrinos der einen »Sorte« in solche der anderen »Sorte« umwandeln, während solche Umwandlungen bei Nullmasse nicht stattfinden können. Die Wissenschaftler konnten bei ihren Versuchen derartige Übergänge nachweisen. Allerdings war die von ihnen abgeleitete Masse des Neutrinos etwas geringer, als sie sich aus den Versuchen der sowjetischen Wissenschaftler ergeben hatte. Einige Zeit später erschienen jedoch Mitteilungen, die dieses Ergebnis anzweifelten.
Die Lage ist also nach wie vor ungewiß, und es bedarf noch zahlreicher Versuche und Beobachtungen, ehe ein gesicherter Schluß gezogen werden kann. Es drängt sich hier jedoch ein naheliegender Vergleich auf. Zur Entdeckung des Neutrinos führte die Notwendigkeit, das beim Betazerfall auftretende Energiedefizit zu erklären. Durch die bloße Existenz des Neutri–

nos wurde dieses Rätsel gelöst. Möglicherweise wiederholt sich das jetzt in gewissem Sinn? Es gibt in der heutigen Astrophysik, wie wir gesehen haben, eine Reihe von Rätseln, die lösbar wären, falls das Neutrino eine endliche Masse hat. Mit Hilfe des Neutrinos konnte einst ein Energiedefizit erklärt werden, vielleicht gelingt es jetzt, mit seiner Hilfe ein Massedefizit zu erklären. Wenn sich dennoch herausstellen sollte, daß die Masse des Neutrinos gleich Null ist, müßte man, wie zu Recht festgestellt worden ist, ein anderes Teilchen »erfinden«, das nur eine sehr schwache Wechsel–wirkung mit anderen Teilchen hat, aber eine endliche Masse besitzt.
Selbstverständlich haben Analogien in der Physik und Astronomie keine Beweiskraft. Wohl aber können und müssen sie zu weiteren Untersuchungen des Problems der Neutrinomasse anregen. Gerade aus diesem Grund müssen die möglichen astrophysikalischen Folgen, die das Vorhandensein einer endlichen Masse des Neutrinos hätte, schon heute gründlich erörtert werden, obwohl das Problem noch nicht endgültig gelöst ist.

Die Kosmologie gestern, heute und morgen

Die Kosmologie hat sich im Lauf ihrer Entwicklung wesentlich verändert. Das war auch der Gegenstand eines Gesprächs, das ich mit Igor Nowikow, Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, führte. Nowikow ist ein Schüler A. L. Selmanows und Mitarbeiter von Akademiemitglied J. B. Seldowitsch. Seine Arbeiten zu verschiedenen Gebieten der theoretischen Astrophysik haben ihn unter den Astronomen in aller Welt bekannt gemacht. Auf dem letzten Kongreß der Internationalen Astronomischen Assoziation wurde Igor Nowikow zum Vorsitzenden der Kommission für Kosmologie gewählt.
Wir lassen uns zu zweit in einem der kleinen Arbeitszimmer des Moskauer Planetariums nieder und verschließen die Tür, um uns ungestört über die Kosmologie unterhalten zu können.
»Ja, gewiß«, meint Nowikow, »in den letzten Jahrzehnten hat sich die Kosmologie recht deutlich verändert. Vor zwanzig, ja noch vor zehn Jahren ging es vor allem darum, zu klären, mit welcher Geschwindigkeit sich das Weltall ausdehnt und wie die mittlere Dichte der Materie in ihm ermittelt

werden kann. Heute hat sich der Akzent stärker auf Probleme verlagert, die prinzipieller, ich möchte sagen, physikalischer sind: der Beginn der kosmologischen Expansion sowie die Entstehung der Struktur des Weltalls, das heißt Evolutionsprobleme. Sie haben in der Kosmologie auch schon vorher bestanden, aber man sah keine Methoden zu ihrer Lösung. Wir haben nun neue, sehr wirkungsvolle Methoden zur Erforschung des Weltalls, die vor allem mit der Entwicklung der Raumfahrttechnik zusammenhängen. Die Theorie ist sehr schnell vorangekommen. So ergab sich die reale Möglichkeit, eine Reihe von Fragen, die sich auf frühere Probleme beziehen, zu präzisieren, besonders aber auch der Lösung neuer Probleme näherzukommen.«

»Und wie wird die Kosmologie morgen aussehen?« frage ich. Kaum daß ich die Frage gestellt hatte, bereue ich es auch schon. Die Entwicklung der Wissenschaft, zumal solch einer wie der Kosmologie, vorauszusagen kommt der Lösung einer Gleichung mit vielen Unbekannten gleich. Und Nowikow gehört nicht zu denen, die sich in Phantastereien ergehen. Er selbst hatte mir einmal gesagt:

»Aus den astronomischen Zirkeln, die ich als Jugendlicher im Planetarium besuchte, habe ich wohl als Wichtigstes die Erkenntnis mitgenommen, wie kompliziert es ist, eine Wissenschaft, speziell die Astronomie, weiterzu–entwickeln. Ich habe später niemals den Wunsch gehabt, mir neue, verblüffende Hypothesen aus den Fingern zu saugen, einen Wunsch, an dem leider manche Liebhaber der Astronomie leiden. Diese »Theoretiker« meinen, man brauche sich nur an den Tisch zu setzen, nachzudenken, wie es sich gehört, und schon entdeckt man etwas. Sie begreifen nicht, daß auch ein Genie von der realen Natur ausgehen muß.«

Aber Nowikow nimmt die Frage zu meiner Verwunderung als etwas ganz Natürliches auf, spricht aber in seiner Antwort von höchst realen Dingen.

»Beginnen möchte ich mit der Frage nach dem Alter des Weltalls, die eng mit der Frage nach dem Tempo seiner Expansion zusammenhängt. Nach den heutigen Vorstellungen nahm die kosmologische Expansion vor rund achtzehn Milliarden Jahren ihren Anfang. Wenn man jedoch den Zuverlässigkeitsgrad der uns heute zur Verfügung stehenden Daten berücksichtigt, kann sie ebensogut vor zwölf oder vor zweiundzwanzig Milliarden Jahren begonnen haben. Um die Aufgabe zu lösen, ist es notwendig, mit voneinander unabhängigen Methoden die Entfernungen bis zu den fernen Galaxien sowie die Geschwindigkeiten zu ermitteln, mit denen sie sich entfernen. Am schwersten sind die Entfernungen zu bestimmen. Dafür gibt es verschiedene Verfahren, aber sie alle sind kompli–

ziert und bestehen aus mehreren Stufen. Nacheinander werden die Entfernungen zu den nächsten Fixsternen und Sternhaufen, dann zu anderen Galaxien und so weiter bis zu den Galaxienhaufen berechnet, die an der Expansion des Weltalls teilnehmen. Bei jedem dieser Schritte sind jedoch Fehler möglich, die sich akkumulieren und dem Endergebnis eine beträchtliche Unbestimmtheit verleihen können. Dabei ist es prinzipiell möglich, die Entfernungen bis zu den fernen kosmischen Objekten mit demselben Verfahren zu messen, das bei den nahesten Fixsternen angewandt wird.«

Während Nowikow spricht, entfaltet sich vor mir ein wohldurchdachtes Programm zur Lösung der fundamentalen kosmologischen Probleme mit Mitteln der Raumfahrttechnik. Die Entfernung zu kosmischen Objekten bis zu solchen, die sich an der Grenze des beobachtbaren Weltalls befinden, ließe sich sehr genau mit Hilfe von drei bis fünf Radioteleskopen auf Raumflugkörpern berechnen, die voneinander einen Abstand von einigen astronomischen Einheiten haben müßten.

»Solch ein Projekt«, fährt Nowikow fort, »wurde kürzlich vom Korrespondie–renden Akademiemitglied N. S. Kardaschew aufgestellt. Wenn man es verwirklicht, läßt sich ein Grundproblem der modernen Kosmologie, die Altersbestimmung des Weltalls, auf direktem Weg lösen.«

Wesentliche Hilfe kann die Raumfahrt auch bei der Feststellung der mittleren Dichte der Materie im Weltall leisten. Von der Lösung dieser Aufgabe hängt die Beantwortung der Frage ab, ob das Weltall endlich oder unendlich ist. Wenn ein Kubikzentimeter des Weltraums im Mittel mehr als 10^{-29} Gramm Masse enthält, ist das Weltall geschlossen und endlich, anderenfalls ist es nicht geschlossen und unendlich.

Die mittlere Dichte wird gegenwärtig hauptsächlich aufgrund von Daten der optischen, teilweise auch der Radioastronomie berechnet. Optische und Radiobeobachtungen ermöglichen es, die Masse der leuchtenden Materie in den Galaxien und des neutralen Wasserstoffs, der mit einer Wellenlänge von 21 cm strahlt, näherungsweise zu bestimmen. Es gibt im Weltall jedoch auch viele schwer zu beobachtende Formen der Materie. Das sind zum Beispiel erloschene oder schwach leuchtende Sterne, die mit gewöhnlichen Teleskopen faktisch nicht feststellbar sind. In den Galaxienhaufen und offensichtlich auch im intergalaktischen Raum ist heißes Gas vorhanden. Seine Temperatur - mehr als 10^8 K -ist aber so hoch, daß es im Röntgenbereich strahlt, der dem irdischen Beobachter nicht zugänglich ist.

Sehr schwer zu schätzen ist auch die Menge des Staubes im Weltraum. Diese Aufgabe wird in der modernen Astronomie gelöst, indem man die vom Staub

verursachte Schwächung ferner Lichtquellen ermittelt. Dieses Verfahren ist jedoch nicht anwendbar, wenn es um den intergalaktischen Staub geht, der faktisch keine Lichtschwächung bewirkt. Der in der Nähe der Kerne der Galaxien vorhandene Staub ist stark erhitzt und strahlt im Infrarotbereich, bleibt also gleichfalls für Beobachtungen von der Erde aus unzugänglich.
Das alles ist zu berücksichtigen und liefert heute Möglichkeiten, die mittlere Dichte der Materie mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen. Bei der Lösung dieses Problems kommt Untersuchungen außerhalb der Atmosphäre, speziell Beobachtungen im Infrarot- und Röntgenbereich, große Bedeutung zu.
Nowikow sagt weiter: »Im Prinzip ist es jedoch möglich, die mittlere Dichte der Materie auch direkt anhand der Stärke des Gravitationsfeldes zu bestimmen. Jedes kosmische Objekt, zum Beispiel eine Galaxis, sehen wir unter einem gewissen Winkel, der von der Entfernung des Objekts abhängt. In doppelt so großer Entfernung verringert sich der Winkel für dieses Objekt auf die Hälfte. Falls sich jedoch in dem Raum zwischen Beobachter und Objekt Materie befindet, müssen die Lichtstrahlen nach der allgemeinen Relativitätstheorie eine Krümmung erfahren. Aus der Größe der Krümmung läßt sich die Materiemenge im Raum zwischen Beobachter und Objekt ableiten. Dabei werden alle Materieformen erfaßt. In der Praxis ist die Lösung dieser Aufgabe jedoch unmittelbar mit der genauen Messung der Entfernung der fernen Galaxien verbunden. Und diese wird, wie gesagt, mit Hilfe mehrerer kosmischer Radioteleskope möglich.«
»Kann die Raumfahrt auch zur Erforschung der Frühstadien des Weltalls beitragen?«
»Natürlich. So wäre es für die Erforschung der physikalischen Prozesse, die in den Frühstadien der Expansion stattgefunden haben, sehr wichtig, das Spektrum der Reststrahlung im Infrarotbereich genau zu messen. Das würde beispielsweise eine Antwort auf die Frage ermöglichen, ob auf manchen Expansionsetappen eine Erhitzung des Gases erfolgt ist. Solche Messungen im Infrarotbereich sind aber nur in erheblichem Abstand von der Erde möglich.«
Nach kurzem Schweigen fährt Nowikow fort:
»Ein weiteres wichtiges kosmologisches Problem, dessen Lösung Beobachtungen außerhalb der Atmosphäre verlangt, ist mit der Erforschung der Strukturbildung des Weltalls verbunden. Es ist anzunehmen, daß das Plasma im frühesten Expansionsstadium nahezu homogen war. Später zerfiel es dann auf irgendeine Weise in einzelne Objekte. In der heutigen Etappe ist das Weltall in kleinem Maßstab sehr inhomogen. Die größten »Inho–

mogenitätszellen« haben jedoch Durchmesser von nur etwa hundertfünfzig Megaparsec. Anders ausgedrückt, ist die Inhomogenität des heutigen Weltalls, wenn man hinreichend große Raumteile betrachtet, verschwindend gering. Informationen über Inhomogenitäten in der Vergangenheit könnten wir erlangen, wenn wir die Intensität der Reststrahlung, die aus verschiedenen Richtungen zu um kommt, messen. Beim Vorliegen solcher Inhomogenitäten müßte diese Intensität unterschiedlich sein. Für Messungen dieser Art ist große Genauigkeit erforderlich, und diese läßt sich nur in beträchtlicher Entfernung von der Erde erreichen, wo sich die Eigenstrahlung von Mond und Erde nicht mehr geltend macht.«

Nowikow geht nun auf eine Hypothese über die Bildung der Galaxien ein, die neuerdings in einer Arbeitsgruppe unter Leitung von J. B. Seldowitsch entwickelt worden ist. Sie geht von Berechnungen aus, die es wahrscheinlich machen, daß sich die ersten Inhomogenitäten zu flachen, leicht gekrümmten Gebilden gestalten mußten. Seldowitsch nennt sie »Fladen«. Ich frage Nowikow, welche Aussichten er dieser Hypothese einräumt.

»Um Seldowitschs Hypothese zu überprüfen und weiter auszuarbeiten, ist es notwendig, junge Galaxien in verschiedenen Entwicklungsstadien zu beobachten. Diese sind jedoch derart weit entfernt, daß sie für Teleskopbeobachtungen faktisch nicht zugänglich sind. Der Theorie zufolge muß allerdings bei der Konzentration von kaltem Gas zu »Fladen« neutraler Wasserstoff eine Strahlung mit der Wellenlänge von einundzwanzig Zentimetern aussenden. Da aber die Galaxien, von denen hier die Rede ist, einen riesigen Abstand von uns haben und sich daher mit sehr großer Geschwindigkeit von uns entfernen, muß in ihrer Strahlung eine starke Rotverschiebung zu beobachten sein, und wir wissen nicht, wie dabei die Einundzwanzigzentimeterstrahlung transformiert wird. Größere Aussichten bietet die Beobachtung des Röntgenspektrums einiger chemischer Elemente, die in den uns interessierenden Galaxien vorhanden sind. Aber auch solche Beobchtungen sind nur außerhalb der Erdatmosphäre möglich.«

Mir ist noch an der Beantwortung einer anderen Frage gelegen: »Sie haben schon einmal von der Möglichkeit einer Überprüfung der Annahme gesprochen, daß in frühen Expansionsstadien des Weltalls Anisotropie vorlag. Können Beobachtungen von Raumflugkörpern aus vielleicht auch bei der Lösung dieser Aufgabe weiterhelfen?«

»Tatsächlich ist zu vermuten, daß das Weltall in frühen Expanionsstadien stark anisotrop war. Falls dabei die mittlere Dichte Materie unter der kriti–

schen Dichte lag und das Weltall der Geometrie Lobatschewskis entsprach, mußte ein Bündel paralleler Geraden in einer Richtung zusammen-, in allen anderen Achtungen jedoch auseinanderlaufen. Es gab demnach im Raum nur eine Richtung, in der sich Parallelen trafen. Wenn das wirklich so war, muß in dieser Richtung ein Bereich vorhanden sein, dem eine erhöhte Intensität der Reststrahlung zu beobachten ist. Damit entsteht die Aufgabe, diesen Bereich, diesen »Fleck«, ausfindig zu machen, der sich durch eine intensivere Reststrahlung auszeichnet. Die dazu notwendigen Geräte müssen in den Weltraum gebracht werden, und von dort aus muß eine Durchmusterung des gesamten Himmels erfolgen.«

»Noch eine letzte Frage: Läßt sich mit unserem heutigen Wissen irgend etwas mehr oder weniger Bestimmtes über den Zustand der Materie vor Beginn der kosmologischen Expansion aussagen?«

»Sagen kann man etwas.« Nowikow lächelt. Dann wird er wieder ernst. »Am ehesten in der sogenannten kosmologischen Singularität, das heißt bei extrem hoher Dichte, müssen Raum und Zeit völlig ungewöhnliche Eigenschaften haben und in irgendwelchen anderen Formen existieren. Es ist nicht ausgeschlossen, daß Raum und Zeit unter diesen Bedingungen diskret oder, wie die Physiker sagen, gequantelt sind. Augenscheinlich verlieren auch solche Begriffe wie »vor« und »nach« ihren Sinn. Es findet eine intensive Entstehung von Teilchen aus dem Vakuum statt. Im Prinzip können wir auch über diesen Zustand gewisse Informationen erhalten. Überhaupt möchte ich betonen, daß die moderne Kosmologie durchaus keine spekulative, abstrakte, sondern eine konkrete Wissenschaft ist, die auf Beobachtungsergebnissen fußt.«

Wir verlassen das Planetarium zusammen, und es stellt sich heraus, daß wir den gleichen Weg haben. Unser Gespräch nimmt nun eine andere Richtung.

»Ich wollte Sie schon lange einmal fragen, Igor Dmitrijewitsch, welches Vorgehen bei der Erforschung von Naturerscheinungen Ihnen als Theoretiker persönlich am nächsten liegt. Natürlich nur, wenn Sie darüber sprechen wollen.«

«Warum nicht? Mein Gebiet ist zwar die Astrophysik, aber meine Denkweise ist weniger physikalisch als vielmehr mathematisch. Mir stehen mathematische Untersuchungsmethoden am nächsten. Ich befaßte mich daher, als ich bereits Astronom war, stark mit der allgemeinen Relativitätstheorie und ihren Anwendungen. Gerade in diesem Teil der Astrophysik kommt meiner Ansicht nach die innere mathematische Schönheit theoretischer Modelle am stärksten zum Ausdruck. Nebenbei gesagt, demonstriert diese Schönheit sehr oft die Richtigkeit eines Modells.«

»Und welche Schaffensprinzipien haben Sie?«
»Genauer gesagt: Was zieht mich in der Wissenschaft am stärksten an? Meiner Meinung nach lassen sich die Wissenschaftler in zwei Kategorien teilen: in die einen, die die erste Arbeit zu einem Problem leisten, und die anderen, die sich mit der letzten Arbeit dazu befassen. Ich will es deutlicher sagen. In der ersten Arbeit wird gewöhnlich eine neue, originelle Idee ausgesprochen, wenn das Neue darin auch mit Altem verflochten ist. Als Beispiel kann man die berühmten Bohrschen Postulate anführen, eine Art Mischung der klassischen Physik mit »Teufelswerk«. Man kann das als eine gedankliche Arbeit Bohrs bezeichnen. Mathematik enthält sie sehr wenig, und exakte Modelle werden nicht konstruiert. Es ist jedoch eine ihrem Charakter nach grundlegende Arbeit. Was nun die »letzten« Arbeiten auf meinem Gebiet anlangt, so kann man als charakteristischste Arbeiten dieser Art nennen: die Ausarbeitung der Quantentheorie des mit einem Elektron ausgestatteten Atoms durch de Broglie, Schrödinger und Pauli sowie der Quantenmechanik durch Heisenberg, Schrödinger und Dirac. Diese und andere ihnen entsprechende Arbeiten zeichnen sich durch größte mathematische Kompliziertheit und Reinheit aus.«
»Und was zieht Sie selbst nun am stärksten an?«
»Das sind Untersuchungen der ersten Art. Trotz meiner Liebe zur Mathematik betrachte ich mathematische Operationen und Konstruktionen als Forschungsinstrumente und sehe in ihnen keinen Selbstzweck. Vor einigen Jahren beispielsweise waren die Astrophysiker der Meinung, daß Schwarze Löcher eine unterschiedliche Struktur haben. Gemeinsam mit Seldowitsch und Doroschkewitsch gelang mir dann der Beweis dafür, daß die Bildung eines Schwarzen Loches ein Prozeß ist, bei dem alle »Details« ausgeglichen werden. Das war eine ziemlich vage Voraussage, aber immerhin machten wir sie zu einem Zeitpunkt, als alle meinten, strukturelle Abweichungen würden im Zuge der Bildung eines Schwarzen Loches im Gegenteil größer werden. Nun sind mittlerweile die dieser Frage gewidmeten Arbeiten von Price erschienen, in denen das gleiche Ergebnis, zu dem wir kamen, sozusagen mathematischen Glanz erhalten hat.«
»Bereitet Ihnen der Forschungsprozeß selbst moralische Befriedigung?«
»Ich kenne im Leben nichts Schöneres, nichts, was mehr Befriedigung bereitet, als etwas zu entdecken, was bis dahin noch niemandem bekannt war. Wahrscheinlich ähneln die dabei entstehenden Empfindungen in gewisser Weise dem Gefühl der Mutterschaft. Entdeckungen - große wie kleine - kommen nicht von allein. Sie werden unter Schmerzen geboren. Wenn man an einem Problem arbeitet, denkt man ständig daran: nicht nur

bei der Arbeit, auch zu Hause, in der Metro und sogar - die Verkehrsmiliz möge mir verzeihen - am Lenkrad des Autos. Und wenn dann die Lösung kommt, empfindet man große Befriedigung. Aber um sie empfinden zu können, muß man die Wissenschaft lieben.«

Die Welt, wie sie ist

Auf der letzten Seite einer 1973 erschienenen Broschüre von Professor J. A. Smorodinski - »Teilchen, Quanten, Wellen« - steht zu lesen:
«Die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik haben das ganze Weltbild verändert. Es stellte sich heraus, daß die physikalische Welt die Maßstäbe der Erscheinungen in sich selbst trägt und daß wir sie nicht willkürlich vergrößern oder verkleinern können… Wir können im heutigen physikalischen Weltbild keine einzige Konstante verändern. Unsere Welt ist augenscheinlich so gebaut, daß alle ihre Maßstäbe durch irgendwelche vorläufig unverständlichen Gesetze bedingt sind! Eine andere Welt kann höchstwahrscheinlich nicht existieren.«
Als ich Smorodinski einige Zeit später traf, erkundigte ich mich bei ihm, was er eigentlich mit diesen Zeilen hatte sagen wollen. »Nicht mehr, als was man in den letzten Zeilen auf der letzten Seite der Broschüre eben lesen kann«, antwortete der Wissenschaftler lächelnd.
Das war zwar ein Scherz, aber eben doch mit einem tiefen Sinn. Die Antwort ist im Grunde ebenso unbestimmt wie die Frage. Warum ist die Welt so, wie sie ist? Das Problem ist zu verschwommen formuliert.
Nicht zufällig beschränkte sich A. L. Selmanow, als er auf dieselbe Frage einging, auf die Erklärung, daß das Weltall kraft innerer Notwendigkeit in der Form existiert, die es hat.
Wir stellen uns des öfteren zu allgemeine Fragen, die sich auf die Existenz und die Eigenschaften des Weltalls als Ganzes beziehen. Eine Frage stellen heißt aber doch noch nicht, daß es darauf auch eine Antwort geben kann. Ist die Frage gerechtfertigt, warum die Welt, in der wir leben, gerade so ist und nicht irgendwie anders?
Um diese Frage erschöpfend beantworten zu können, müßten wir uns über die Grenzen des der Beobachtung zugänglichen Weltalls hinausbegeben und von dort aus die Welt in ihrer ganzen Vielfalt erfassen. Das aber ist

leider prinzipiell wie auch aus rein praktischen Ursachen unmöglich.
Selbstverständlich ist in der Welt in dem Sinn alles erkennbar, daß alle Erscheinungen natürliche Ursachen haben und natürlichen Gesetzen unterworfen sind. In der Praxis können wir jedoch bei weitem nicht alles erkennen. Erstens deshalb, weil der Prozeß der Erkenntnis des unendlich vielfältigen Weltalls zeitlich unendlich ist und weil auf jedem Entwicklungsstand der Wissenschaft in der Welt etwas bleibt, was uns unbekannt ist. Zweitens deshalb, weil wir nicht von allen in der Welt ablaufenden Prozessen die erforderlichen Informationen erhalten können. Schließlich auch noch deshalb, weil der Charakter der Erkenntnis der Welt weitgehend von den konkreten Eigenschaften des Menschen geprägt ist.
Wenn wir beispielsweise nicht das sichtbare Licht, sondern die Radiowellen wahrnehmen würden, hätte die Entwicklung unseres Wissens einen ganz anderen Weg genommen.
Wir werden demnach - und daran muß immer wieder erinnert werden - niemals in der Lage sein, mit unserem Wissen die gesamte Materie zu erfassen; ihre Eigenschaften sind unerschöpflich. Und deshalb eben hat es auch keinen Sinn, in ganz allgemeiner Form die Frage zu stellen, wodurch diese Eigenschaften insgesamt gekennzeichnet sind.
Die Aufgabe ist also einzuengen und so weit zu begrenzen, daß sie einen realen physikalischen Sinn erhält. Offensichtlich darf es dabei nur um das der Beobachtung zugängliche Weltall und um diejenigen seiner Eigenschaften gehen, die durch uns bekannte Gesetze bestimmt werden.
Die Frage selbst, auf die wir eine Antwort erhalten wollen, muß nun etwa so lauten: Ist es ein Zufall, daß die uns unmittelbar umgebende Welt gerade diese Eigenschaften besitzt? In dieser Form ist die Frage völlig gerechtfertigt, denn gerade die Variante des Weltalls, die wir beobachten, ist bei weitem nicht die wahrscheinlichste von allen denkbaren Varianten.
Wir wollen unsere Aufmerksamkeit zunächst den verschiedenen Existenz–formen der Materie im Weltall zuwenden und uns diejenigen vornehmen, die häufiger als andere auftreten. Das sind Sterne, Staub und Gas. Was Staub und Gas betrifft, so entfällt ein erheblicher Teil der Materie des Weltalls auf die Gas- und die Staubnebel. Das alles sind jedoch Übergangsformen. Nach allem zu urteilen, sind die Sterne im heutigen Weltall die stabilste Form diskreter kosmischer Objekte. Ist es aber nun ein Zufall, daß die Materie in den verschiedensten Teilen des beobachtbaren Weltalls gerade in Sternen konzentriert ist? Der amerikanische Science-fiction-Schriftsteller Robert Sheckley hat eine scharfsinnige Erzählung geschrieben, in der er schildert, wie eine Kosmos-Baufirma für gewisse Auf–

traggeber eine Metagalaxis geschaffen hat. Natürlich ist das nicht ernst gemeint, aber der Schriftsteller benutzte diese Fabel, um gewisse Gesetz–mäßigkeiten oder »Spielregeln« darzulegen. Und in diesen »Spielregeln« liegt der Kern der Sache. Wenn wir einen Ball und Spieler haben, ist das noch bei weitem nicht alles, denn mit ein und demselben Ball sind die verschiedensten Spiele möglich. Damit das Spiel einen bestimmten Charakter erhält, muß es bestimmten Regeln unterworfen werden.

Wir versetzen uns nun an die Stelle von Konstrukteuren eines Weltalls. Ehe wir mit der Arbeit beginnen, müßten wir nicht nur die Haupteigenschaften der Grundelemente dieses Weltalls festlegen, sondern auch eine Sammlung von Gesetzen ausarbeiten, die das Verhalten und die Wechselwirkung ausnahmslos aller materiellen Objekte bestimmen.

Welche Gesetze sind es nun, die bewirken, daß in unserem realen Weltall gerade die Sterne ein Existenzvorrecht genießen? In der lebenden Natur wirkt bekanntlich die natürliche Auslese: Es überleben diejenigen Organismen, die am besten an die Umweltbedingungen angepaßt sind. Offenbar gibt es auch im Weltall eine Art natürlicher Auslese. Im Bewegungsprozeß der Materie können sehr vielfältige Objekte entstehen, aber die meisten davon sind instabil und werden schnell zerstört.

Zugleich sind manche kosmischen Objekte, in erster Linie die Sterne, hinreichend stabil und können lange Zeit existieren. Warum ist das so?

Offenbar wirkt im Weltall irgendein allgemeiner »Regulator«, und es besteht Grund für die Annahme, daß das die sogenannte Rückkopplung ist. Im Zusammenhang mit der schnellen Entwicklung der Kybernetik, Elektronik und Automatisierung ist dieser Terminus heute allgemein bekannt. Die Rückkopplung wird technisch in vielfältiger Weise angewandt: zur Lenkung von Raketen, zur Steuerung von Werkzeugmaschinen usw. Ohne Rückkopplung wären moderne Rundfunk- ,und Fernsehempfänger sowie viele andere Geräte undenkbar.

Einfach gesagt: Die Rückkopplung ist eine Korrektur bestimmter Funktionen in Abhängigkeit von dem Effekt, den diese hervorrufen.

Der Mensch hat die Rückkopplung genutzt, lange bevor dieser Begriff wissenschaftlich formuliert und in verschiedenen technischen Systemen angewandt wurde. Bei einer beliebigen Handlung, die wir ausführen, berücksichtigen wir deren Folgen nicht nur, sondern nehmen sie auch als Grundlage für laufende Korrekturen.

Auch in der Natur findet etwas Ähnliches statt. Gerade die Rückkopplung ist es, die bei einer ganzen Reihe von Naturprozessen deren stabilen Charakter sichert. Ein einfaches Beispiel ist das physikalische Pendel: Jede

Abweichung des Pendels von der Gleichgewichtslage ruft eine Kraft hervor, die das Pendel in diese Lage zurückführt.
Nach allem zu urteilen, gibt es auch in den Sternen einschließlich unserer Sonne eine Rückkopplung. Wir wollen davon ausgehen, daß die ungeheure Energie der Sonne als Ergebnis der thermonuklearen Fusion entsteht. Dabei gibt die Sonne die Energie allmählich, relativ langsam ab und hält den Betrieb ihrer »Kernfeuerung« auf einem streng bestimmten Niveau. Wie macht sie das? Sie hat schließlich kein Steuerpult, das von vernunftbegabten Wesen bedient wird. Hier eben haben wir es mit einer Rückkopplung und Selbstregelung zu tun.
Die thermonukleare Fusion findet höchstwahrscheinlich in der zentralen Zone des Sonneninnern statt. Diese Zone ist auf alten Seiten von ungeheuren Massen umgeben, die von der starken Gravitation zum Mittelpunkt gezogen werden. Dem wirkt jedoch der kolossale Druck der Gase entgegen, die in der »Hitzehölle« entstehen. Auf diese Weise wird ein relatives Gleichgewicht erreicht.
Wenn dann aus irgendeinem Grund die Intensität der thermonuklearen Fusion etwas abfällt, sinken auch Temperatur und Gasdruck, und die Reaktionszone wird unter dem Gravitationsdruck der umgebenden Massen zusammengepreßt. Dadurch beginnen Temperatur und Gasdruck wieder zu steigen, und die Reaktion kehrt zur Norm zurück. Wenn umgekehrt die Intensität der Kernfusion aus irgendeinem Grund zunimmt, dehnt die »überschüssige« Energie die Sonne aus, und das läßt die Temperatur in der zentralen Zone sinken. Diese Abkühlung setzt sich fort, bis die Reaktion wieder in ihr »normales Gleis« kommt. Wenn die Quelle der Sonnenenergie aber nun nicht die thermonukleare Fusion, sondern ein anderer physikalischer Prozeß ist? Auch dann müssen die Sonne und die Sterne sich selbst regelnde Systeme sein, und sei es nur, weil sie anderenfalls nicht derart lange existieren könnten.
Sonne und Sterne überhaupt sind ein Spezialfall, sind nur eine der konkreten Existenzformen der Materie. Es sind aber schon verhältnismäßig lange gewisse allgemeine Gesetzmäßigkeiten beobachtet worden, die darauf schließen lassen, daß das Rückkopplungsprinzip eine fundamentale Eigenschaft der uns umgebenden Welt ist.
Denken wir zum Beispiel an das von dem russischen Physiker Emilij Lenz 1833 entdeckte Gesetz auf dem Gebiet des Elektromagnetismus. In den Schullehrbüchern wird es als »Lenzsche Regel« dargelegt, die rein praktische Bedeutung hat: Sie ermöglicht es, die Richtung eines Induktionsstroms zu ermitteln. In Wirklichkeit handelt es sich um ein fundamentales

Naturgesetz, um einen speziellen Fall des Rückkopplungsprinzips. Jede Änderung eines Magnetfeldes ruft einen Induktionsstrom hervor, dessen Magnetfeld der Änderung entgegenwirkt, die diesen Strom entstehen ließ.
Gesetze dieser Art - manche mögen noch ihrer Entdeckung harren - gelten auch für zahlreiche andere Erscheinungen. Rückkopplung und natürliche Selbstregelung erklären, daß es in der Natur kein Gesetz gibt, daß zahlreiche Erscheinungen in der uns umgebenden Welt stabilen Charakter haben.
Offensichtlich ist es so, daß nur solche kosmischen Objekte hinreichend lange existieren, in denen Rückkopplung und Selbstregelung wirksam sind. Daraus ist unschwer zu entnehmen, daß gerade diese Objekte häufiger als andere sind.
Wir sind hier nur auf eine Seite der »Einrichtung«, der Existenz des Weltalls eingegangen. Es ist sehr wohl möglich, daß eine auf den ersten Blick unauffällige Eigenschaft, die Stabilität, eine der wichtigsten Faktoren ist, die zur Ausbildung auch vieler anderer Eigenschaften des Weltalls beigetragen haben.
Wir wollen nun von einer etwas anderen Seite an die Frage nach den globalen Eigenschaften des Weltalls herangehen. In einer Arbeit von John Wheeler findet sich folgender Satz: »Die im Weltall bestehende Ordnung der Dinge könnte ohne den Menschen auch nicht so sein, da es den Menschen aber nun einmal gibt, ist das Weltall gerade so.«
Diese Behauptung scheint zunächst höchst paradox zu sein. Wie können die Eigenschaften des Weltalls vom Menschen abhängen? Paradox ist jedoch hier in Wirklichkeit nur die Ausdrucksweise. Viel klarer hat lange vor Wheeler A. L. Selmanow einen ganz ähnlichen Gedanken wiederholt ausgesprochen:
»Zeugen von Naturprozessen eines bestimmten Typs sind wir nur deshalb, weil die Prozesse anderen Typs ohne Zeugen ablaufen.«
Auf dem Weltkongreß der Philosophen 1978 in Düsseldorf berief sich ein Redner in seinen Ausführungen über die Eigenschaften des Weltalls auf Wheeler, erwähnte aber die Arbeiten Selmanows mit keinem Wort. Das nahmen W. Ambarzumjan und W. Kasjutinski in derselben Sektion zum Anlaß, auf dieselbe Frage noch einmal einzugehen.
Als Selmanow davon hörte, meinte er:
«Ja, gewiß, im Grunde genommen haben Wheeler und ich ein und denselben Gedanken ausgedrückt. Wir verfolgten damit jedoch offenbar unterschiedliche Ziele. Wheeler meint nichts anderes, als daß in einem anderen Weltall mit anderen Eigenschaften das Leben nicht existieren kön–

nte. Und ich wollte außerdem betonen, daß es unzulässig ist, unser Wissen, das lokalen Charakter hat, uneingeschränkt auf das Weltall als Ganzes zu extrapolieren.«

Das ist ein ganzes Knäuel von Problemen, unter denen sich allerdings zwei Grundprobleme erkennen lassen. Das erste: War die Notwendigkeit der Entstehung des Lebens und des Verstandes bereits unter den Anfangs–bedingungen, als die Expansion des Weltalls begann, »programmiert«? Das zweite: Wieweit können wir aufgrund unserer endlichen Kenntnisse vom Weltall über seine globalen Eigenschaften urteilen?

Was die erste Frage betrifft, so stehen die Untersuchungen dazu erst ganz am Anfang. Es ist aber wohl nicht zu bezweifeln, daß die irdische Zivilisation ein natürliches Ergebnis der gesamten vorherigen Entwicklungsgeschichte des Weltalls einschließlich der Anfangsbeding–ungen ist. Hier spielen allem Anschein nach gewisse allgemeine Eigenschaften des Weltalls eine wesentliche Rolle. Das sind erstens vier Typen von Wechselwirkungen: auf der Gravitation beruhende, elektromag–netische, starke (nukleare) und schwache Wechselwirkung. Jede von ihnen ist für bestimmte Entfernungen charakteristisch und hat eine bestimmte Stärke. Zweitens gehören zu den globalen Eigenschaften des Weltalls eine bestimmte Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien (das Expansionstempo), eine mittlere Dichte der Materie sowie Homogenität und Isotropie.

Während wir die Frage, warum gerade das Eigenschaften des Weltalls sind, heute noch nicht beantworten können, kann man sich recht gut vorstellen, wie das Weltall mit etwas anderen Eigenschaften sein würde. Wenn zum Beispiel das Elektron eine dreimal höhere Ladung hätte, könnte Wasser bei keiner Temperatur flüssig sein. Falls die mittlere Dichte im Weltall erheblich unter der tatsächlichen läge, würden die Kernreaktionen mit so hoher Geschwindigkeit ablaufen, daß die Lebensdauer der Sterne offensichtlich für die Bildung von Planeten zu kurz wäre.

Es sei wiederholt: Die Frage, warum die einen oder anderen Parameter des Weltalls gerade so sind, wie sie sind, ist heute schwerlich zu beantworten. Aus der Theorie folgt jedoch, daß viele dieser Parameter eng miteinander verbunden sind: Falls sich der eine beträchtlich ändern sollte, würde dies auch Veränderungen anderer Parameter nach sich ziehen. Auch hier ist noch keineswegs alles klar, aber jedenfalls »kann der Schluß gezogen werden, daß wir offenkundig in einem in hinreichend strengem Gleichgewicht befindlichen Weltall leben, was auch die für das Leben günstigen chemischen Bedingungen bezeugen«*. Es ist nicht ausgeschlossen,

* W. Trimbl, Der Platz des Menschen im Weltall (Kosmologische Aspekte). Im Sammelband: Heutige Probleme der Astrophysik, Moskau 1978, S. 35 (russ.)

daß dieser Zustand gleichfalls ein Ergebnis der Selbstregelung ist. Die zweite Frage, die oben gestellt wurde, wird in gewissem Maß schon von der Tatsache beantwortet, daß es eine Wissenschaft wie die Kosmologie gibt. Allgemeine Eigenschaften und Charakteristika des Weltalls können im Prinzip auch aufgrund unserer endlichen Erfahrung erkannt werden. Dabei ist jedoch stets zu bedenken, daß das Weltall unendlich vielfältiger und reicher ist, als uns gegenwärtig bekannt ist und uns in einem beliebigen, künftigen Entwicklungsstadium der Wissenschaft bekannt sein wird.

Die Revolution in der Astronomie

Wenn in den vergangenen Jahrzehnten bei der Erforschung des Weltalls so viel Überraschendes, eine derart große Anzahl völlig ungewöhnlicher Objekte und Erscheinungen der immer seltsamer werdenden Welt entdeckt worden sind, erhebt sich doch die berechtigte Frage, ob in der modernen Astronomie eine Revolution stattfindet. Und wenn das der Fall ist - worin besteht sie dann? Dazu gibt es unterschiedliche Auffassungen. Ist das aber wirklich so wichtig: Revolution oder nicht? Genügt es nicht, die Wissen–schaft einfach voranzubringen?

Wir wollen jedoch an die Worte Lenins denken: In Zeiten einer stürmischen Entwicklung der Wissenschaft bedürfen die Entdeckungen der philosophischen Deutung; die Naturwissenschaft kann in solchen Situationen nicht ohne die Philosophie auskommen. Und daß sich die heutige Wissenschaft vom Weltall stürmisch entwickelt, unterliegt keinem Zweifel.

Demzufolge ist es notwendig, die in der Astrophysik unserer Tage eingetretene Situation philosophisch zu analysieren. Welche Ursachen haben den raschen Fortschritt der astrophysikalischen Forschung bewirkt? Welches sind die Faktoren, die bei den neuen, fundamentalen Entdeckungen in der Astronomie eine wichtige Rolle gespielt haben? Welche Bedeutung haben diese Entdeckungen für das Weltbild, für die Struktur des Wissens und die Forschungskonzeption? Verlangen sie eine Revision grundlegender physikalischer Theorien?

Ohne solch eine Analyse ist es unmöglich, den Platz der jüngsten Entdeckungen im System des Wissens zu bestimmen, ihre Bedeutung richtig

zu beurteilen, die effektivsten und aussichtsreichsten Wege für die weitere Entwicklung der Astronomie sowie für ihr Zusammenwirken mit anderen Naturwissenschaften festzulegen.

Jede wissenschaftliche Revolution ist ein Einbruch in eine immer seltsamer werdende Welt, ein Sprung über die Schranken fest verwurzelter Vorstellungen, ein Schritt vom gewohnten Weltbild in den Bereich des Unbekannten. Unter welchen Umständen geschieht das? Welche Bedingungen sind dazu notwendig, welche Faktoren tragen dazu bei?

Um sich heute auf dem Gebiet philosophischer Probleme der Wissenschaft vom Weltall erfolgreich betätigen zu können, reicht die Kenntnis der Philosophie allein nicht aus. Vielmehr muß man sich dazu auch sehr gründlich in der Astronomie und der Physik auskennen. Und diese beiden Wissenschaften sind heute vor allem Mathematik, und zwar deren schwierigste Bereiche: Differentialgleichungen, Gruppen, Tensoren und Transformationen. Wadim Kasjutinski ist ein Philosoph mit Astronomie–studium. Er ist in der modernen Wissenschaft vom Weltall ständig auf dem laufenden und in der Lage, ihre aktuellsten Probleme aus philosophischer Sicht zu analysieren. Viele Astronomen haben ein offenes Ohr für das, was er sagt.

Ich wurde schon vor längerer Zeit im Moskauer Planetarium mit Kasjutinski bekannt, wo er ein philosophisches Seminar leitete. Später arbeiteten wir gemeinsam an einem Buch über die moderne Astrophysik. Wir trafen uns regelmäßig, erörterten neue Entdeckungen sowie die mit ihnen zusammenhängenden philosophischen und methodologischen Probleme. Dabei nahm die Frage nach der Revolution in der modernen Astronomie stets .einen wichtigen Platz ein.

Kasjutinski meinte einmal dazu: »Der Gedanke an solch eine Revolution kam mir erstmals 1966, als ich mir die Frage stellte, ob man bei der Entwicklung einer modernen Theorie des Weltalls einzig und allein mit den bekannten Begriffen und Gesetzen der Physik auskommen kann oder nicht. Ich ging von der Situation aus, wie sie damals in der Kosmologie und Astrophysik entstanden war. Unter einer Revolution in der Wissenschaft verstand ich in herkömmlicher Weise eine Revolution im Wissen.«

Damals gab es noch eine andere Auffassung von der Revolution in der Astronomie. Akademiemitglied W. L Ginsburg zum Beispiel war der Ansicht, sie bestehe darin, daß in kurzer Zeit eine ganze Reihe von neuen Forschungsmitteln und -methoden entwickelt wurde. Diese Auffassung vertrat er auch später noch. So schrieb er in dem 1974 erschienenen Buch »Über Physik und Astrophysik«: Den Inhalt dieser Revolution »kann man,

wenn man von diesem Ausdruck überhaupt Gebrauch machen will, nur in dem Prozeß sehen, der aus der optischen Astronomie eine sich auf alle Wellenlängen erstreckende Astronomie gemacht hat«.
Damit war Kasjutinski ganz und gar nicht einverstanden:
»Es ist mir unverständlich, warum die Verfechter dieser Ansicht die mit neuen Methoden entdeckten prinzipiell neuen Erscheinungen nennen, diese Erscheinungen selbst jedoch nicht in den Begriff der Revolution aufnehmen. Wo ist hier die Logik?«
Bei Ginsburg hieß es aber auch, »…wenn man von diesem Ausdruck überhaupt Gebrauch machen will«. Er war also im Grunde gar nicht der Ansicht, daß in der Astronomie bereits eine Revolution stattfindet, denn er verknüpfte sie mit der Entdeckung neuer Gesetze, mit einer Revolution in den Grundlagen des physikalischen Wissens. Da es das in der Wissenschaft vom Weltall zur Zeit nicht gibt, ist es auch verfrüht, von einer Revolution zu sprechen.
Dazu sagt Kasjutinski: »Wir haben im wesentlichen die gleiche Auffassung von einer Revolution in der Wissenschaft, beurteilen aber die gegebene Situation unterschiedlich. Warum sollen wir warten? Von der Revolution in der Physik begann man zu sprechen, lange bevor die neuen Theorien ausgearbeitet waren. Aber klar war bereits, daß die früheren Vorstellungen keine Aussicht auf Erfolg hatten.«
Viele Astronomen erhoben jedoch Einwände gegen diese Ansicht, und sie waren in der Regel wohlbegründet:
»Darum geht es ja gerade: Es ist keineswegs klar, daß es gegenwärtig in der Astronomie neuer Gesetze bedarf, um die im Weltall entdeckten ungewöhnlichen Erscheinungen zu erklären. Natürlich ist es auch nicht ausgeschlossen, daß hierfür völlig neue Gesetze gebraucht werden. Falls das eintritt, werden wir zugeben, daß in der Astronomie tatsächlich eine Revolution stattfindet.«
Während unserer Arbeit an dem gemeinsamen Buch stießen wir gleichfalls auf dieses Problem, was gar nicht ausbleiben konnte. Eines Abends kam Kasjutinski zu mir, und wir diskutierten lange über die Merkmale, aus denen man schließen könnte, daß die Revolution bereits im Gange ist, sowie über die Ursachen, die sie herbeigeführt haben.
Wir kamen an diesem Abend zu keinem bestimmten Ergebnis und trennten uns etwas verwirrt. Es war unmöglich, diese Frage im Buch zu umgehen, aber wir hatten noch keine Klarheit. Bald darauf entbrannte die Diskussion um das Problem der Revolutionen in der Wissenschaft besonders heftig. In russischer Übersetzung war ein Buch des amerikanischen Wissenschaftshi–

storikers P. Kuhn erschienen. Darin führte er den Begriff »Paradigma« im Sinn eines fest eingebürgerten, allgemein anerkannten Systems wissenschaftlicher Vorstellungen ein, die die »Weltsicht« bestimmen. Nach Kuhn war ein Wechsel des Paradigmas eben eine Revolution in der Wissenschaft.

»Unter dem Einfluß der Arbeiten Kuhns«, erklärte mir Kasjutinski, »maß ich eine Zeitlang den sozialpsychologischen Momenten der Forschung, von denen die Beurteilung einer Situation in der Wissenschaft abhängt, zu große Bedeutung bei. Mir ist heute klar, daß das nicht ganz richtig war. Zwar spielt eine Veränderung In der Psychologie einer wissenschaftlichen Gemeinschaft zweifellos bei jeder Revolution in der Wissenschaft keine geringe Rolle, aber man darf keinesfalls die in der Wissenschaft vor sich gehenden objektiven Prozesse außer acht lassen, die mit der Erkenntnis der unabhängig von uns existierenden Natur zusammenhängen. Für Kühn ist die Betonung der Psychologie, allgemein gesehen, verständlich, denn das Problem der Objektivität des Wissens interessiert ihn nicht. Für einen marxistischen Philosophen dagegen ist das die Grundfrage. Als ich nun Kuhns Konzeption von diesem Standpunkt aus durchdachte, kam ich zu dem Schluß, daß man einen Wechsel in der Weltsicht durchaus als ein Moment einer Revolution in der Wissenschaft ansehen kann, aber keinesfalls als das Hauptmoment.«

Einmal rief mich Kasjutinski aus einer öffentlichen Fernsprechzelle an. Er hat zu Hause keinen Telefonanschluß und widersetzt sich dem auch energisch zum Unterschied von den meisten Zeitgenossen. Das Telefon stört bei der Arbeit, meint er. Man kann sich nicht konzentrieren, wenn es immer wieder klingelt.

Ich vernahm seine erregte Stimme aus dem Hörer: »Ich habe begriffen, daß es zwischen Ginsburgs und meiner Auffassung keine prinzipiellen Differenzen gibt.«

Wahrscheinlich würden die vor der Telefonzelle Wartenden nun ziemlich viel Geduld aufbringen müssen. Wenn Kasjutinski einen Gedanken zu einem wissenschaftlichen Problem darzulegen beginnt, schließt er sich völlig von seiner Umgebung ab. Auch diesmal sprach er lange und schnell:

»Die Wissenschaft ist eine Einheit aus einem Wissens- und einem Tätigkeitssystem. So spricht Ginsburg faktisch von einer Revolution im System der Tätigkeit zur Gewinnung astronomischen Wissens, und ich spreche von einer Revolution im System des Wissens. Meine frühere Auffassung von einer wissenschaftlichen Revolution als einer grundlegenden Veränderung im fundamentalen Wissen fixierte daher nur

einen wichtigen Charakterzug solch einer Revolution — ihr Resultat. Eine wissenschaftliche Revolution reduziert sich aber nicht auf ihr Resultat, sie muß weiter gefaßt werden…«
An dieser Stelle brach anscheinend doch die umgebende Realität in Gestalt der Warteschlange in die Telefonzelle ein, denn Kasjutinski schwieg und sagte dann mit gedämpfter Stimme: »Ich muß Schluß machen.«
Am nächsten Tag trafen wir uns dann unter günstigeren Umständen. Kasjutinski schob die seit unserem Telefongespräch vergangenen vierundzwanzig Stunden sozusagen beiseite und fuhr unverzüglich so fort, als hätte es keine Unterbrechung gegeben:
»Die Revolution in der modernen Astronomie umfaßt demnach radikale Veränderungen irn System der Forschungstätigkeit wie auch im System des Wissens vom Weltall. Ihre schließlichen Folgen und Ausmaße allerdings lassen sich zur Zeit schwerlich ermessen, denn bis zum Abschluß dieser revolutionären Wandlungen ist es noch weit.«
Wenn Kasjutinski über Astronomie spricht, dann stets so, als halte er einen Vortrag. Was er diesmal zu mir sagte, lief etwa auf folgendes hinaus:
In der Astronomie des 20. Jahrhunderts kann man, was die Tätigkeit anlangt, drei Etappen unterscheiden. In der ersten Etappe, die um die Jahrhundertwende begann, dienten die astrophysikalischen Untersu–chungen als Methode zur Befriedigung des Wissensdurstes: Der Mensch wollte wissen, in was für einer Welt er lebt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen fanden allerdings, später ihre Anwendung bei der praktischen Erschließung des Weltraums. Die Revolution in der Physik erschloß der astronomischen Tätigkeit neue Möglichkeiten, so bei der Anwendung der allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantenmechanik auf die Erforschung kosmischer Prozesse. Charakteristisch für diese Etappe sind zwei prinzipielle Ergebnisse der Astronomie: die Entdeckung der Expansion des Weltalls sowie der von Wiktor Ambarzumjan 1934 vorgebrachte, wenn auch bei der astronomischen Beobachtungen damals noch nicht berücksichtigte Gedanke vom gesetzmäßigen Charakter der nichtstationären Entwicklungsphasen der kosmischen Objekte.
Die zweite Etappe begann nach dem zweiten Weltkrieg. Die stürmische Entwicklung der Elektronik, Automatik und Funktechnik gab der Forschungstätigkeit neue Elemente in die Hand, was zu einem schnellen Fortschritt der Astrophysik führte. Nun fand der Gedanke Ambarzumjans in vielen astronomischen Beobachtungen seine überzeugende Bestätigung. Die Astrophysik wurde zu einer evolutionären Wissenschaft.
In den letzten Jahren begann eine neue, die dritte Etappe in der Tätigkeit zur

Gewinnung astronomischen Wissens: Sie dehnte sich auf alle Bereiche aus, was hauptsächlich der Entwicklung der Raumfahrt zu danken war.
Aufgrund der neuen Forschungsmethoden vollzogen sich revolutionäre Veränderungen im Wissenssystem der Astrophysik. Der Einsatz von Mitteln der Raumfahrt hat eine Automatisierung der Beobachtungen und Experimente zur Folge, wobei die Deutung neuentdeckter kosmischer Erscheinungen immer schwieriger wird.
Alles zusammen bewirkte einen radikalen Wandel im Wissenssystem der Astronomie. Das heutige Bild des evolutionierenden Weltalls, das nicht nur expandiert, sondern förmlich explodiert, ähnelt dem Bild des statischen Weltalls vom Anfang des 20. Jahrhunderts ebensowenig, wie die heutigen Vorstellungen von den sich gegenseitig umwandelnden Atomen und Elementarteilchen der Auffassung von den unteilbaren Atomen der klassischen Physik ähneln. Sogar für den Fall, daß es gelingt, die oft von der Freisetzung ungeheuerlicher Energiemengen begleiteten nichtstationären Prozesse im Weltall im Rahmen der fundamentalen Theorien der modernen Physik zu erklären, würden diese Erklärungen derart außergewöhnlich sein, daß man schon heute den Schluß ziehen kann: Die Revolution in der Astronomie hat auch die Wissenssphäre der Astrophysik erfaßt.
Wadim Kasjutinski schloß seine Ausführungen: »Wie jedoch manche Astronomen annehmen, bedarf es zur Aufstellung einer Theorie der aktiven Kerne der .Galaxien ebenso wie des der Expansion vorangegangenen Anfangszustands der Materie fundamentaler physikalischer Theorien, die allgemeiner sind als die heutigen: Sie müssen auf Situationen anwendbar sein, in denen Gravitations-, relativistische und Quantenerscheinungen gleichermaßen wesentlich sind. Die Revolution in der Astronomie wird in diesem Fall zum Ausgangspunkt neuer revolutionärer Veränderungen im gesamten System des physikalischen Wissens werden.«
Wie immer das sein mag - das Weltall ist unerschöpflich, und seine Erforschung wird in 100 wie auch in 1000 Jahren zu neuen fundamentalen Entdeckungen führen.

Dem Gewohnten zuwider

Die Wissenschaft wird von Menschen gemacht, mit ihrer Weltanschauung, ihren individuellen Eigenschaften, ihren gewohnten Anschauungen und

Vorstellungen. Hinter jeder wissenschaftlichen Konzeption stehen deren Verfechter, die davon überzeugt lind, daß diese Konzeption richtig ist. Ein kardinaler Wandel in den wissenschaftlichen Vorstellungen, eine wissen–schaftliche Revolution ist daher stets ein Drama der Ideen und ein rein menschliches Drama.

Eine wissenschaftliche Konzeption ist nicht einfach eine Sammlung von Fakten, Gesetzen, Formeln und Regeln, sondern eine bestimmte Einstellung bei der Erkenntnis der Natur, eine bestimmte Denkweise und ein bestimmtes Wertsystem. Ganz gleich, um welche wissenschaftliche Hypothese es sich handelt, ihre Bewertung und ihre Aufnahme durch die Gemeinschaft der Wissenschaftler hängt nicht so sehr davon ab, ob sie widerspruchsfrei und harmonisch ist, nicht einmal davon, wieweit sie der Realität entspricht, als vielmehr davon, wie sie mit den geistigen, moralischen und ästhetischen Werten der Wissenschaft und der Menschheit in der betreffenden Epoche übereinstimmt. Fünzu kommt die keineswegs geringe Bedeutung, die die Übereinstimmung einer wissenschaftlichen Konzeption mit der konkreten Persönlichkeit eines Wissenschaftlers hat, mit seinen Gewohnheiten und Neigungen, mit seinem Charakter und seinen Auffassungen von der Wissenschaft.

Das alles zusammengenommen hindert einen Forscher nicht selten daran, ein offenes Ohr für die »seiner« Konzeption widersprechenden Argumente zu haben und in ihnen etwas zu sehen, was Aufmerksamkeit verdient. Natürlich gebietet die Aufrichtigkeit einem Wissenschaftler, auf eine Theorie zu verzichten, wenn auch nur eine einzige Tatsache festgestellt wird, die ihr zweifelsfrei widerspricht.

Unter dem Druck »unbequemer« Tatsachen auf Denkgewohnheiten zu verzichten ist schon viel schwerer. Der Wissenschaftler rechnet dann lieber damit, daß letzten Endes eine Deutung der neuen Tatsachen gelingen wird, die keinen Verzicht auf seine Prinzipien verlangt.

Der französische Physiker Paul Langevin hat einmal gesagt, daß die Begründer wissenschaftlicher Theorien besser um deren Schwächen und Mängel wissen als ihre Schüler und Kommentatoren. Mit der Zeit geraten ihre Vorbehalte allmählich in Vergessenheit. Was für sie eine Hypothese war, wird zum Dogma, und dieses wird mit zunehmendem Abstand von der ursprünglichen Quelle immer unanfechtbarer.

Auf jeder Entwicklungsetappe der Menschheit stoßen wir immer wieder auf die Tendenz, die bereits vorliegenden Resultate in ihrer Bedeutung zu überschätzen, sowie auf den Glauben, daß diese Resultate »der Schlüssel zur Erkenntnis aller Geheimnisse des Weltalls« sind.

Ich fragte einmal Igor Nowikow, was er empfindet, wenn gewohnte Vorstellungen einer wesentlichen Revision unterzogen werden müssen.
»Ich war noch nie verdrossen, wenn ich meine Auffassungen revidieren mußte«, antwortete er überzeugt. »Ich wundere mich über Leute, die sich für unfehlbar halten. Wie kann man sich den Anschein geben, daß man niemals Fehler macht, und wenn diese dann offenkundig werden oder Vorstellungen revidiert werden müssen, nach einer Rechtfertigung suchen? In der Wissenschaft werden die einen Vorstellungen zwangsläufig durch andere, tiefere ersetzt, die die Wirklichkeit genauer widerspiegeln. Anders kann es doch gar nicht sein.«
Leider urteilen bei weitem nicht alle so. In unserer Zeit ist eine Vielzahl von Menschen in der Wissenschaft tätig. Soziologen und Psychologen haben festgestellt, daß in den vergangenen Jahrzehnten ein neuer Persönlich–keitstyp aufgetreten ist, für den die Orientierung nach außen bezeichnend ist. Er ist innerlich nicht originell, unterscheidet sich nicht von anderen und übernimmt vorbehaltlos die allgemein anerkannten Vorstellungen.
Psychologen haben in den USA einen aufschlußreichen und zugleich mustergültigen Versuch durchgeführt. Den Versuchspersonen wurden zwei Stäbe - der eine etwas länger als der andere -vorgelegt. Vorher waren mit Ausnahme eines einzigen alle gebeten worden, die Frage, welcher Stab länger ist, falsch zu beantworten. Als die Reihe nun an denjenigen kam, der von alledem nichts wußte, schloß er sich, ohne nachzudenken, der allgemeinen Meinung an, vertraute dieser demnach mehr als seinen eigenen Augen.
Ist es vielleicht auch so, daß das derzeitige wissenschaftliche Paradigma, daß die allgemein anerkannten, gewohnten Vorstellungen den Forscher hypnotisieren und ihm den Blick für die Wahrheit trüben?
Natürlich kann nicht bestritten werden, daß ein Paradigma auch eine positive Rolle spielt. Es schützt die Wissenschaft vor Unkraut: Sie entwickelt sich gewissermaßen unter dem Schutz des Paradigmas, das ein Urteil darüber ermöglicht, was wissenschaftlich und was unwissenschaftlich ist. Das allerdings ist nicht so einfach, und die reichen Erfahrungen aus der Geschichte der Naturwissenschaft beweisen, daß solche Urteile relativ sind. Wissenschaftliche Revolutionen - und sie finden statt, heute wie künftig - verändern die Paradigmen, folglich auch die Vorstellungen davon, was wissenschaftlich und was unwissenschaftlich ist.
J. A. Schneider, Kandidat der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, schreibt: »Man kann sagen, das Neue ist das undenkbare Alte. Mehr noch: Das wirklich Wahre ist etwas, was nach dem gesunden Menschenverstand

undenkbar und absurd ist. Ein reales Paradoxon des Seins unterscheidet sich vom Unsinn dadurch, daß es vom Verstand erfaßt und in das Wissenssystem aufgenommen werden kann.«

Ein kühner Mathematiker, der zu paradoxen, verblüffenden Aussprüchen neigt, verkündete auf einer sehr seriösen wissenschaftlichen Konferenz folgende These: »Ein Grundprinzip der Entwicklung der Wissenschaft lautet: Wissenschaftlich wird morgen das, was heute unwissenschaftlich ist.«

Wir wollen solche Aussprüche dem Gewissen ihres Urhebers überlassen. Man kann offensichtlich jeden Gedanken, der Aufmerksamkeit verdient, unschwer bis ins Absurde steigern. Aller Wahrscheinlichkeit nach lohnt es aber dennoch, von Zeit zu Zeit zu überlegen, ob es im derzeitigen Wissen nicht etwas gibt, was dem Erlangen neuen Wissens hinderlich sein kann. Leider ist es viel leichter, diese Frage zu stellen, als sie zu beantworten. Es entsteht eine paradoxe Situation: Um ein Paradigma zu erschüttern, sind Argumente erforderlich, die im Rahmen dieses selben Paradigmas legitim sind. Anders ausgedrückt: Man muß zumindest wissen, was an diesem Paradigma schlecht ist, wo es in Widerspruch zur Natur gerät. Das aber zeigt sich gewöhnlich nur dann, wenn ebenjene neuen Fakten oder Umstände auftreten, die das Paradigma erschüttern. Und das geschieht zumeist überraschend.

Von den Elementarteilchen zu den Galaxien 3

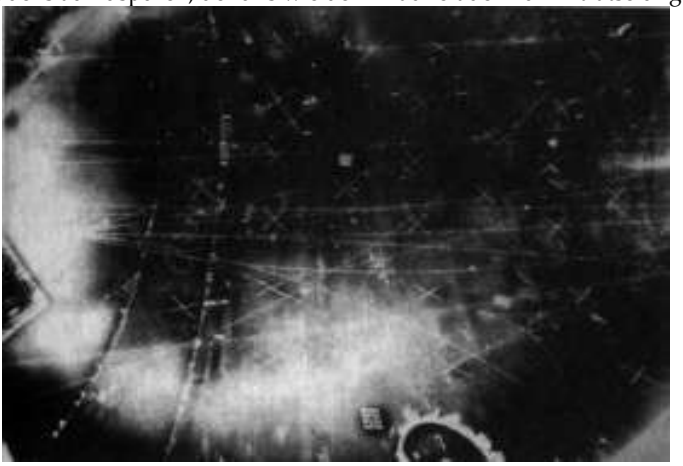
Anfang dieses Jahrhunderts betrat die Physik sicheren Schrittes die seltsame Welt der Mikroprozesse. Ihre weitere Entwicklung sowie der schnelle Fortschritt der Astronomie öffneten dann das Tor zu einer noch seltsameren Welt von Objekten und Erscheinungen und demonstrierten damit überzeugend, daß diese Welt unausweichlich ist.
Die erstaunlichsten und ungewöhnlichsten Entdeckungen sind jedoch im Grenzbereich zwischen Mikrophysik und Physik des Kosmos zu erwarten. Hier stoßen wir auf eine höchst seltsame neue Welt. Sie öffnet sich bei der gemeinsamen Untersuchung von Erscheinungen in verschwindend kleinen Raum-Zeit-Intervallen und von Erscheinungen kosmischen Ausmaßes.

Rund um die Quarks

Die moderne Naturwissenschaft erkennt immer deutlicher, daß die verschwindend kleinen Mikroteilchen und die gigantischen kosmischen Welten nicht nur zwei entgegengesetzte Pole, sondern auch verschiedene, aber sich gegenseitig durchdringende Aspekte ein und desselben Weltalls sind. Auch das ist ein Ausdruck der Dialektik der Natur.
Besonders bemerkenswert ist dabei folgender Umstand: Auf der gesamten grandiosen Struktur- und Größenleiter der Naturprozesse, die der heutigen Forschung zugänglich sind (und sie reicht von 10^{-16} bis 10^{28} cm, also über 43 Zehnerpotenzen), treten die vom Menschen entdeckten Naturgesetze nirgends miteinander in Widerspruch, auch nicht an den entgegengesetzten Enden dieser »Leiter.«
Der Zusammenhang zwischen »Mikro« und »Makro« ist ein konkreter Ausdruck der Dialektik der Natur, der allgemeinen wechselseitigen Verbindung und gegenseitigen Abhängigkeit der Naturerscheinungen. Schon heute läßt sich in manchen Fallen schwer unterscheiden, was in die den Bau und die Evolution des Weltalls erforschende Kosmologie und was

in die Theorie der Elementarteilchen gehört. Der Weg zum Verständnis der physikalischen Natur vieler in den letzten Jahren im Weltall entdeckten erstaunlichen Prozesse und Objekte beginnt demnach möglicherweise tief in der Mikrowelt.

Um jedoch irgendwo in den ultrakleinen Raum-Zeit-Bereichen das Ende des Fadens aufzuspüren, der uns wie der Ariadnefaden zur Enträtselung der tief–



Teilchenspuren in der Wasserstoffblasenkammer BEBC des westeuropäischen Kernforschungszentrums CERN in Genf

sten Geheimnisse kosmischer Objekte führt, ist es zunächst offenkundig erforderlich, daß wir in der Mikrowelt selbst etwas uns Unverständliches verstehen lernen.

In den letzten Jahrzehnten hat die Physik der Mikrowelt, die den Bau der Materie auf dem Niveau der Mikroprozesse, der Atome, Atomkerne und Elementarteilchen, erforscht, schnelle Fortschritte gemacht. Vor etwa zwanzig Jahren waren den Physikern alles in allem ein rundes Dutzend Elementarteilchen bekannt, und es schien so, als bestünden alle Objekte der uns umgebenden Welt gerade aus diesen Teilchen. Dann jedoch wurden riesige Beschleunigungsanlagen gebaut, wurde die elektronische Rechentechnik eingesetzt, und dem war es zu danken, daß viele neue Teilchen entdeckt wurden, so daß deren Zahl heute in die Hunderte geht.

Zuerst machte die Welt der Elementarteilchen den Eindruck, als seien die Teilchen gewissermaßen voneinander vereinzelt und wären nicht durch gemeinsame Gesetze miteinander verbunden. Dann aber führten zunächst die experimentellen, dann auch die theoretischen Bemühungen zur Erkenntnis

gewisser Gesetzmäßigkeiten, die es ermöglichen, die Elementarteilchen zu systematisieren und eine Klassifikation wie etwa das Periodensystem Mendelejews aufzustellen. Ebenso wie es das Mendelejewsche System möglich machte, unbekannte Elemente mathematisch zu bestimmen, erlaubte es auch das von den Physikern entwickelte System der Elementarteilchen, bis dahin unbekannte Erscheinungen vorherzusagen.
Im Anschluß daran trat jedoch in der Physik der Mikrowelt Stille ein. Jedenfalls äußerten Anfang der siebziger Jahre viele bekannte Fachleute die Meinung, daß die Physik der Mikrowelt Offenkundig in den Hintergrund tritt und daß sie in der heutigen Naturwissenschaft eine wesentlich bescheidenere Rolle spielt als die Atomphysik zu Beginn dieses Jahrhunderts: Diese nahm damals eine dominierende Stellung in den Köpfen der Menschen wie auch im Hinblick auf praktische Anwendungen ein. Und wie verhält es sich heute? Hat sich etwas geändert?
Diese Frage habe ich lebhaft mit Wladimir Manko, Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, erörtert. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Physikalischen Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR.
»Meiner Ansicht nach ist eine sehr wesentliche Änderung eingetreten«, meint Manko. »Wenn auch in den letzten Jahren auf diesem Gebiet keine revolutionären Entdeckungen gemacht worden sind, ist doch jedenfalls die Theorie der Elementarteilchen stark weiterentwickelt worden, so daß sie heute erneut im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit der Physiker steht. Die Physik der Elementarteilchen liefert uns heute wertvolle Informationen über neue Gesetzmäßigkeiten, die über die jetzigen Vorstellungen hinausgehen. In den vergangenen ein bis zwei Jahren hat sich ein besonderer Bereich der Physik der Elementarteilchen, der Bereich »neue Teilchen« entwickelt.«
»Neue Teilchen sind aber doch auch früher entdeckt worden…«
»Ganz richtig. Unlängst wurden jedoch die sogenannten Psiteilchen entdeckt, die sehr interessante Eigenschaften aufzuweisen haben. Übrigens wurde den USA-Physikern Samuel Ting und Burton Richter 1976 für die Entdeckung dieser Teilchen der Nobelpreis verliehen.«
»Was ist das Bemerkenswerte an dieser Entdeckung. Handelt es sich um völlig außergewöhnliche Teilchen, oder bestätigte deren Existenz wichtige theoretische Gedanken?«
»Es geht darum, daß ein sehr enger Zusammenhang zwischen den Psiteilchen und den Quarks besteht.«
Das sind sie nun, die Quarks, diese verblüffenden Fundamentalteilchen mit gebrochenen Ladungen, die 1964 von den amerikanischen theoretischen

Physikern Gell-Mann und Zweig »erfunden« worden sind - würdige Vertreter der seltsamen Welt. Nach dem Grundgedanken der Quark–hypothese gibt es drei Quarks und drei ihnen entsprechende Antiquarks. Aus Quarks und Antiquarks können Protonen, Neutronen, Hyperonen, Mesonen und ihre Antiteilchen sowie einige weitere Elementarteilchen aufgebaut sein.
Dazu erklärt Wladimir Manko: »In theoretischer Hinsicht hat sich die Quarkhypothese als sehr interessant und als vielversprechend erwiesen. In der Welt der Elementarteilchen geht jedenfalls alles so vor sich, also würde es die Quarks geben.«
»Es ist aber noch nicht gelungen, sie nachzuweisen?«
»Das ist es ja eben. Von 1964 bis 1970 wurde in vielen Laboratorien der Welt intensiv nach ihnen gesucht: in Beschleunigungsanlagen für Elementar–teilchen, in der kosmischen Strahlung und sogar in Bodenproben vom Mond.«
»Erinnern Sie sich an den berühmten Versuch von Robert Millikan zur Ermittlung der Ladung des Elektrons?« fragt mich Manko.
»Aber natürlich. Millikan konnte nachweisen, daß jede Ladung stets ein Mehrfaches der Ladung des Elektrons, der Elementarladung, ist.«
»Ganz richtig. Da die Quarks Bruchteile dieser Elementarladung haben müssen, kam man auf folgenden Gedanken: Man nimmt ein Stück irgendeines Gesteins und mißt seine elektrische Ladung. Wenn sich darin ein freies Quark befindet, kann seine gebrochene Ladung durch nichts kompensiert werden und muß bei der Messung nachweisbar sein.«
»Wurden solche Messungen vorgenommen?«
»Gewiß, in den sechziger Jahren sogar an vielen Stellen, auch an der Universität Moskau. Dabei wurde in manchen Gesteinsstücken tatsächlich eine gebrochene Ladung festgestellt. Die Ergebnisse wurden sogar veröffentlicht. Mehr noch: Man grub in den alten Arbeiten Millikans sogar Hinweise darauf aus, daß in einzelnen seiner Versuche eine gebrochene Ladung - ein oder zwei Drittel einer Elementarladung - aufgetreten war. Diese Experimente erwiesen sich aber schließlich als fehlerhaft.«
»Und heute hat man Untersuchungen dieser Art eingestellt?«
»Nein, sie werden weitergeführt, aber bisher ohne Ergebnis. Übrigens gibt es eine Veröffentlichung, in der behauptet wird, der Nachweis einer gebrochenen Ladung sei geglückt. Dabei wurde jedoch eine derart komplizierte Versuchsanlage benutzt, daß zur Zeit niemand diese Messungen wiederholen kann. Das Ergebnis läßt sich also vorläufig weder bestätigen noch widerlegen.«

»Kurz gesagt: Es ist also nicht gelungen, Quarks in freiem Zustand nachzuweisen? Gibt es sie also überhaupt?«
»Ja«, Manko lächelt, »gibt es Quarks? Erinnert die Situation nicht vielleicht an die fatale Geschichte mit dem Problem »Gibt es Leben auf dem Mars? — Gibt es kein Leben auf dem Mars?« Die Ähnlichkeit ist aber nur rein äußerlich. Vorläufig fügen sich die neuesten Entdeckungen in der Physik der Elementarteilchen nicht nur gut in die Quarkhypothese ein, sondern bekräftigen auch in erstaunlicher Weise alle Voraussagen, die auf der Grundlage dieser Hypothese gemacht worden sind.«
Manko fährt fort: »Quarks nachzuweisen ist also nicht gelungen. Im Zusammenhang damit ist eine gewisse Abkühlung gegenüber dieser Hypothese eingetreten. Zugleich würde es aber sehr schwer, viele Eigenschaften der Elementarteilchen ohne Quarks zu erklären. So hat sich dennoch die Quarkhypothese weiterentwickelt. Dabei kamen die Theoretiker zu dem Schluß, daß es ein weiteres, ein viertes Quark, das sogenannte C-Quark mit seinem Antiquark, geben muß.«
Jeder Physiker und sicherlich auch jeder andere Wissenschaftler hat sein Steckenpferd, sein Lieblingsproblem, das er endlos zu erörtern bereit ist. Man kann unschwer erraten, daß das bei Wladimir Manko die Quarks sind.
»Wenn es ein viertes Quark gibt, muß es auch Teilchen geben, an deren Zusammensetzung es teilnimmt. Und solch ein Teilchen, das J-Psi-Meson, wurde 1974 von Gruppen amerikanischer Physiker unter Leitung von Samuel Ting und Burton Richter entdeckt. Übrigens gibt es auch eine Hypothese, nach der das J-Psi-Meson ein atomähnliches System ist, das aus einem C-Quark und seinem Antiquark besteht. Dieses System erhielt die Bezeichnung »Charmonium«.«
»Falls diese Hypothese der Wirklichkeit entspricht, was ist dann das J-Psi-Meson?«
»Offenbar eins der möglichen Energieniveaus der »Charmonium«.«
»Also kann es noch andere Energieniveaus geben?«
»Sie wurden bereits entdeckt: mit den Massen 3,4 und 3,5 GeV sowie mit der Masse 3,7 GeV.«
«Soweit ich das verstehe, ist die Entdeckung der Psiteilchen ein nicht unwichtiges Argument, das für die Quarkhypothese spricht.
Nun erhebt sich aber die alte Frage: Warum gelingt es nicht, Quarks experimentell nachzuweisen?«
»Dazu gibt es den für die theoretische Physik recht bezeichnenden Gedanken, daß die Quarks sozusagen festgehalten werden. Wenn es uns trotz aller Bemühungen nicht gelingt, Quarks in freiem Zustand nachzuwei–

sen, sich aber andererseits mit ihnen Eigenschaften der Elementarteilchen gut erklären lassen, ist anzunehmen, daß die Quarks irgendwelche völlig ungewöhnlichen Eigenschaften haben. Und so eben wurde der Gedanke von besonderen Kräften geboren, die die Quarks in gebundenem Zustand festhalten. Das müßten Kräfte sein, die sich von elektromagnetischen, nuklearen und überhaupt allen gewohnten Kräften unterscheiden. Vielleicht gibt es eben in der Natur Teilchen (einschließlich der Quarks), die im Prinzip nicht voneinander getrennt und in freier Form nachgewiesen werden können.«

»Und das ist«, erkundige ich mich, »eine rein spekulative Hypothese, oder wird ein konkreter physikalischer Mechanismus angenommen?«

»Einen Gedanken dazu gibt es schon«, meint Manko lächelnd. »Es ist nicht ausgeschlossen, daß die Kräfte, die zwei Quarks miteinander verbinden, an einen unendlich dünnen elastischen Schlauch — einen »Gummischlauch« — erinnern. Diese elastische schlauchförmige Verbindung gestattet es nicht, daß ein Quark vom anderen losgerissen wird: Wenn sie sich unter einer äußeren Einwirkung »ausdehnt«, zieht sie sich anschließend wieder zusammen und versetzt das Quark an seinen alten Platz. Es ist also nicht ausgeschlossen, daß die Quarks Gebilde eines besonderen Typs sind, die nur zusammen existieren und nicht voneinander getrennt werden können.«

Möglich ist das durchaus. Die Physik der Mikrowelt hat uns bereits an viele erstaunliche Dinge gewöhnt, und darunter wäre »das Festhalten der Quarks aneinander« bei weitem nicht die seltsamste Erscheinung.

Schließlich kann man sie sich mit Hilfe des »Gummimodells« recht anschaulich vorstellen. Dieser »Gummi« muß außerordentlich fest sein. Die Bindungsenergie nimmt mit dem Abstand rasch zu. Um zwei Quarks auch nur einen Millimeter voneinander zu entfernen, würde eine riesige Energie benötigt, die auch in den modernen Beschleunigungsanlagen nicht erreicht werden kann.

Dennoch kann man annehmen, daß bei hinreichend starker Dehnung der »Gummi« schließlich doch reißt. Dann entsteht jedoch an der Rißstelle augenblicklich ein Paar aus einem Quark und einem Antiquark, die sich unverzüglich mit dem getrennten Quark und Antiquark vereinigen und ein gewöhnliches Teilchen bilden. Demnach entstehen selbst bei der Trennung der Verbindung keine Quarks in freiem Zustand.

Vor den theoretischen Physikern stand schon einmal ein analoges Problem: Was hält die Teilchen im Atomkern fest? Welche Kräfte bewirken zum Beispiel, daß die gleichnamig geladenen Protonen nicht unter dem Einfluß der elektrostatischen Abstoßung in verschiedene Richtungen davonfliegen?

Eine Lösung dieses Problems wurde von Akademiemitglied Igor Tamm vorgeschlagen. Es muß, so vermutete er, Träger dieser Kräfte geben, die die Protonen im Kern miteinander austauschen, wodurch sie aneinander festgehalten werden. Tamm vermutete, daß beispielsweise Elektronen Träger dieser Kernkräfte sein können. Die Elektronenmasse reicht jedoch nicht aus, um die zu beobachtende Größe der Kernkräfte zu erklären.
Den nächsten Schritt vollzog der japanische Physiker Yukawa. Er konstruierte für die Übertragung der Kernkräfte theoretisch ein besonderes Teilchen, das Pi-Meson oder Pion. In der Geschichte der Physik hat solch ein Vorgehen bekanntlich schon wiederholt Erfolg gehabt. Das war auch diesmal der Fall. In den Nachkriegsjahren gelang es, Pionen experimentell nachzuweisen.
In Analogie dazu war nun die Annahme berechtigt: Möglicherweise werden die Quarks gleichfalls durch solche »Austauschkräfte« aneinander festgehalten. So wurde die Gluonenhypothese geboren. Die elektromagnetischen Wellen, die Quanten eines gewöhnlichen elektromagnetischen Feldes, gehorchen den linearen Maxwellschen Gleichungen. Die Gluonen sind stark nichtlineare Wellen, für die sehr komplizierte nichtlineare Gleichungen gelten, deren Lösung erst in den letzten Jahren gelang. Man kann sich eine Gluonenwelle, erneut ein Vertreter der seltsamen Welt, nur sehr schwer vorstellen. Ihre »Erfindung« eröffnet jedoch die Möglichkeit, an den Aufbau einer einheitlichen Feldtheorie heranzugehen, wovon die Physiker schon lange träumen. Der Gedanke von der Existenz eines vierten Quarks wurde bereits vor einigen Jahren geäußert. Seine Urheber gingen von etwa ebenso allgemeinen und recht unklaren Erwägungen aus, wie sie seinerzeit Gell-Mann bei der Aufstellung der Hypothese über die Existenz von drei Quarks gemacht hatte. Darüber wurde unverhohlen gespottet, und manche hielten derartige Erwägungen für offenkundige Dummheiten. Wie kann man bloß von einem vierten Quark sprechen, wenn es in keiner Weise gelingen will, die bisherigen drei Quarks nachzuweisen! Heute aber sind die aufgrund der Annahme eines vierten Quarks vorhergesagten Teilchen, die Psi-Mesonen, nachgewiesen. Davon ist bereits ein rundes Dutzend bekannt. Und dafür wurde der Nobelpreis verliehen. Denen, die solche »dummen« Gedanken aussprachen, gebührt also alle Achtung.
Wenn man die gleiche »freche Logik«, wie sich Manko ausgedrückt hat, fortsetzt, kann man die noch kühnere Annahme machen, daß es ein fünftes Quark gibt. Aus denselben Überlegungen folgt, daß jedes folgende Quark eine größere Masse haben muß als das vorausgegangene. So hat das aus einem C-Quark und seinem Antiquark bestehende System eine Masse von

rund drei Protonenmassen. Das aus dem fünften Quark und seinem Antiquark bestehende Teilchen muß noch massereicher sein.
Tatsächlich wurde solch ein Teilchen im August 1977 von dem ameri–kanischen Physiker Lederman entdeckt. Schon ein Jahr später bestätigten dies westdeutsche Physiker, die das neue Teilchen bei einer anderen Kernreaktion registrierten: Es erhielt die Bezeichnung Ypsilonteilchen und hat die Masse von fünf Protonen. Man kann sich nur wundern: Die Vorhersagekraft der Quarkhypothese ist einfach erstaunlich.
Warum aber soll man nicht noch weitergehen? Vielleicht gibt es noch ein sechstes Quark? Heute sagt schon niemand mehr, daß dies nicht möglich sei..
Als ich dabei war, dieses Buch abzuschließen, traf in Dubna und im Physikalischen Institut der Akademie der Wissenschaften ein Telefonanruf aus Genf ein. In unserer so schnellebigen Zeit versuchen die Physiker sozusagen operative Verbindung miteinander zu halten. Aufsätze mit neuen Ergebnissen erscheinen gewöhnlich in den Fachzeitschriften erst rund ein Jahr nach ihrem Eingang in der Redaktion. In den letzten Jahren wurde dann in den »Briefen« eine schnellere Veröffentlichung möglich. Aber auch hier beträgt die Verzögerung bis zu zwei Monate. Aber zurück zum Anruf aus Genf: Der amerikanische Physiker Ting, der bereits das J-Psi-Meson entdeckte, teilte mit, daß es ihm gelungen sei, ein Teilchen mit einer Masse von 30 Protonen zu registrieren. Das fand jedoch keine Bestätigung, so daß die Frage nach einem noch schwereren neuen Teilchen offenbleibt.
Wenn aber nun doch ein Teilchen entdeckt wird, das aus einem sechsten Quark und seinem Antiquark besteht - was dann? Wird dieses Teilchen die Masse des Protons um das Neunzigfache übertreffen? Nach der Quarkhypothese kann solch ein Teilchen durchaus existieren. Um es aber nachzuweisen, bedarf es einer Energie, die zur Zeit in keinem Beschleuniger erreichbar ist. Aber schon das, was bisher geschah, ist eindrucksvoll. Die auf der Quarkhypothese fußenden Vorhersagen sind in erstaunlicher Weise eingetroffen.
Physiker sind jedoch sehr vorsichtige Leute.
In einem Vortrag hatte Manko einmal gesagt: »Es ist durchaus möglich, daß Ihnen hier in diesem gleichen Saal ganz andere Vorstellungen von den Elementarteilchen dargelegt werden. Dabei ist es nicht ausgeschlossen, daß die Quarks in diesen Vorstellungen keinen Platz mehr finden.«
Diese Vorsicht schien mir doch etwas übertrieben zu sein. Ich konnte mich nicht zurückhalten und sagte das Manko. Er lächelte und meinte:
»Wir Physiker sind derart an alle möglichen neuen Gedanken und Hypothesen

gewöhnt, daß wir jede Veränderung an den bestehenden Vorstellungen als eine durchaus wahrscheinliche Möglichkeit ansehen, selbst für den Fall, daß diese Vorstellungen gute Dienste leisten!«

»Und Sie selbst, was meinen Sie: Gibt es nun Quarks oder nicht?«

»Wie die meisten Physiker neige ich zu der Auffassung, daß die Quarks reale Objekte sind.«

Interessant ist, daß man eine gewisse Analogie zwischen den Quarks und den Leptonen, den leichten Teilchen, herstellen kann, zu denen das Elektron gehört. Es ist nicht ausgeschlossen, daß gerade Quarks und Leptonen die »Bausteine« sind, aus denen alle übrigen Teilchen bestehen. Dann würden sich die Physiker bei ihrer Suche nach den Fundamentalteilchen bereits einer der Endstationen nähern.

Gibt es aber überhaupt solch eine Station? Die Theorie der Elementarteilchen führt uns jedenfalls bei ihrer heutigen Entwicklung beharrlich zur Entdeckung einer immer seltsamer werdenden Welt.

Das bestätigt mir auch der in Dubna tätige theoretische Physiker W. S. Baraschenkow, Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften:

»Ja, das verhält sich wirklich so. Die Theorie der Elementarteilchen führt uns immer weiter weg von anschaulichen Vorstellungen. Sie wird mit immer komplizierteren mathematischen und anderen Bildern ausgestattet, für die es in der uns unmittelbar umgebenden Welt keine Analogien gibt.«

Ich hatte Wladlen Baraschenkow einige Jahre zuvor auf der 2. Unionskonferenz für philosophische Probleme der modernen Naturwissenschaft kennengelernt. In der Literatur war mir sein Name schon früher begegnet. Seine Aufsätze, die sich stets mit aktuellsten und vielversprechenden Problemen der physikalischen Theorie befaßten, hatte ich mit Vergnügen gelesen. Als wir. nun miteinander ins Gespräch kamen, stellte sich heraus, daß wir ungefähr in derselben Zeit, wenn auch in verschiedenen Studienjahren, an der Physikalischen Fakultät der Universität Moskau studiert hatten.

Ausführlicher konnte ich bei dieser Gelegenheit nicht mit Baraschenkow sprechen, denn er hatte es eilig, ins Institut zu kommen.

Dann nahm ich in Dubna an einer Konferenz mit dem Thema »Die Zukunft der Wissenschaft. Horizonte der modernen Physik« teil.

Die Horizonte der Physik… Und wo ist die Astrophysik? Nein, sie wurde nicht vergessen. Um sich davon zu überzeugen, brauchte man nur einen Blick auf das Konferenzprogramm zu werfen, das auf einer Tafel am Saaleingang ausgehängt war. Die gute Hälfte der Vortrage hing auf die eine oder andere Weise mit Problemen der Erforschung des Weltalls zusammen.

Das war bemerkenswert, denn die Organisatoren der Konferenz waren das Vereinigte Institut für Kernforschung und das Institut für Philosophie der Akademie der Wissenschaften. Die moderne Physik grenzt sich nicht von den Problemen des Weltalls ab. Gerade in dieser Richtung werden zunehmend Kräfte und Mittel eingesetzt, und ein neuer Einbruch in die seltsame Welt ist im Gange.

Der Konferenzsaal füllt sich langsam. An zwei Tagen werden hier Physiker und Philosophen ihre Auffassungen zu einigen brennenden Problemen der modernen Naturwissenschaft darlegen sowie, davon ausgehend, die Perspektiven der Physik und Astrophysik in der überschaubaren Zukunft umreißen.

Die Zukunft der Wissenschaft, Horizonte der Physik und Astrophysik… Wenn Schriftsteller wissenschaftlich-phantastischer Literatur eine Konferenz unter diesem Motto abhielten, würden wir wahrscheinlich packende Erzählungen von Weltraumsiedlungen, von der Steuerung mächtiger kosmischer Prozesse, der Gewinnung von Energie und Materie aus dem Vakuum, von der Entdeckung neuer Naturgesetze, kurz gesagt, von den begeisternden Perspektiven hören, die sich aus der Beherrschung bislang unbekannter Naturkräfte ergeben.

Obwohl Physiker und Philosophen ihre Phantasie nicht schlechter als diese Schriftsteller spielen lassen, obwohl auch sie in die Zukunft blicken können, haben sie doch eine Phantasie etwas anderer Art. Sie hat ihren Ausgangspunkt gewöhnlich in absolut konkreten Problemen, die es in der modernen Naturwissenschaft tatsächlich gibt. Von diesen Problemen, von ihrer Analyse, von der Suche nach Wegen zu ihrer Lösung gehen die Wissenschaftler aus, wenn sie sich bemühen, einen Blick in die Zukunft zu werfen. Dieses Vorgehen ist wahrscheinlich nicht so effektvoll, ermöglicht es aber dafür, den heutigen Stand der Wissenschaft nüchtern zu beurteilen, ihre aktuellsten Probleme zu deuten sowie die Aussichten einzuschätzen, die für die Überwindung von Schwierigkeiten bestehen.

In der Pause zwischen zwei Sitzungen finden wir - Baraschenkow und ich - schließlich genügend Zeit zu einem Gespräch.

»Es geht also um die seltsame Welt«, nimmt er den Gedanken aus unserem ersten kurzen Gespräch wieder auf. «Es ist zur Zeit etwas Interessantes im Gange. Neue, ungewohnte Begriffe, ungewohnt auch für den Physiker, macht man sich allmählich zu eigen, sie werden bald allgemein gebraucht, und schon sind sie ganz unmerklich zu einer gewohnten Sache geworden. Einer unserer Physiker hier in Dubna hat dafür einmal ein aufschlußreiches Beispiel genannt. Als er noch ein junger Wissenschaftler war, wurde eines

Tages im Physikalischen Institut der Akademie die Frage der Potential–schranke für Alphateilchen erörtert. Um den Zuhörern diesen neuen Begriff anschaulicher zu machen, verglich der Vortragende diese Schranke mit der Heavisideschicht, also jener ionisierten Schicht der Erdatmosphäre, die die kurzen Funkwellen reflektiert. Einige Jahre später, nach dem Krieg, war derselbe Physiker Ohrenzeuge eines Gesprächs, in dem ein Student einem anderen erklärte, was die Heavisideschicht darstellt, und dazu verglich er sie mit der Potentialschranke für Alphateilchen.

Mit der Entwicklung der Wissenschaft, mit der Aneignung neuen Wissens«, faßt Baraschenkow den Gedanken zusammen, »vollzieht sich eine Art Umwertung der Werte: Das Ungewohnte erhält seinen festen Platz im Denken. Neue Entdeckungen folgen ununterbrochen, und so erschließt sich uns die immer seltsamere Welt.«

Das ist jedoch nur der Auftakt zu unserer Unterhaltung. Bei der Vorbereitung darauf ging mir eine Äußerung von Wladimir Manko nicht aus dem Sinn. Er meinte, die Theorie der Elementarteilchen habe die schweren Zeiten hinter sich. Nun möchte ich natürlich zunächst wissen, ob diese Ansicht auch ein anderer theoretischer Physiker vertritt, und stelle deshalb eine entsprechende Frage.

»Nach einer gewissen Zeit scheinbarer Stagnation kam es auf diesem Gebiet der modernen Physik zu einem wichtigen Durchbruch«, sagt Baraschenkow und schließt sich damit Manko an. »Speziell in der Theorie kommt man erfolgreich auf einer Linie voran, die auf die Vereinigung der in der modernen Physik bekannten verschiedenen Typen der Wechselwirkung zielt. Das galt zunächst den schwachen und den elektromagnetischen, jetzt auch den starken Wechselwirkungen. Das alles geschieht sozusagen in großer Tiefe: auf dem Niveau der Quarks.«

Unser weiteres Gespräch ist nun fast eine Wiederholung meiner Unterhaltung mit Manko. Allerdings entnehme ich dem, was Baraschenkow sagt, auch einige neue Nuancen.

«Sehr große Bedeutung für die weitere Entwicklung unserer Vorstellungen von den Elementarteilchen werden die unlängst entdeckten Psiteilchen mit ihren ungewöhnlichen Eigenschaften haben. Obwohl die theoretischen Voraussetzungen, die die Existenz solcher Teilchen zulassen, gegeben waren, kam ihr experimenteller Nachweis doch recht überraschend. Ich wiederhole: Die theoretischen Voraussetzungen lagen vor.«

»Die Quarks?« frage ich.

«Ja, die Quarks. Andererseits war natürlich die Entdeckung der neuen Teilchen ein wichtiges Argument zugunsten der Quarkhypothese. Ohne

diese Hypothese ließen sich die Eigenschaften der Psiteilchen nur sehr schwer erklären. Außerdem bekräftigten die Psiteilchen die Annahme, daß es nicht nur drei, sondern vier Quarks geben muß. Wir wissen jetzt auch, daß jedes dieser Quarks drei verschiedene »Farben« hat.«

Das ist nun etwas Neues für mich. Man hat sich, wie mir Baraschenkow erläutert, geeinigt, mit dem hier etwas ungewöhnlichen Ausdruck »Farbe« (rot, weiß oder gelb), eine Eigenschaft der Quarks, so etwas wie eine Ladung, zu bezeichnen, die ihrer Wechselwirkung miteinander zugrunde liegt. In Analogie zur Elektrodynamik begann man nun von der »Chromo–dynamik« der Quarks zu sprechen, die deren Wechselwirkung untersucht.

»Der Gedanke von der Existenz dreifarbiger Quarks«, fügt Baraschenkow hinzu, »wurde übrigens bereits vor einigen Jahren von dem theoretischen Physiker Akademiemitglied N. N. Bogoljubow geäußert. Er hat jetzt überzeugende Bestätigungen gefunden.«

Ich möchte jedoch unser Gespräch in etwas andere Bahnen lenken, mehr in philosophische. Ich versuche die Weiche zu stellen:

»Welchen Platz hat Ihrer Meinung nach die Theorie der Elementarteilchen in der modernen Naturwissenschaft?«

»Sie hat neben der Astrophysik stets eine außerordentlich wichtige Rolle bei der Entwicklung neuer Vorstellungen über Erscheinungen in der uns umgebenden Welt gespielt. .So führt uns zum Beispiel die heutige Theorie der Elementarteilchen zu einer neuen Auffassung vom Elementaren.«

Hier fällt mir der Eröffnungsvortrag ein, der auf der Konferenz von M. E. Omeljanowski, Korrespondierendes Akademiemitglied, gehalten wurde. Seine Fachrichtung ist die Philosophie der Naturwissenschaft. Er erinnerte daran, daß der Gedanke der Unendlichkeit der Materie und des Prozesses ihrer Erkenntnis von Lenin stammt. Bei der Erforschung der Mikrowelt haben die Ereignisse der letzten Zeit diesen Gedanken Lenins überzeugend bestätigt. Jüngste Untersuchungen haben beispielsweise geklärt, daß solche »elementaren« Teilchen wie Proton, Neutron und Pi-Meson nicht punktförmig sind, sondern eine bestimmte Struktur haben.

Die physikalische Seite dieses Problems erläutert nun Baraschenkow:

»Noch vor verhältnismäßig kurzer Zeit hielt man es für selbstverständlich, daß das Weltall eine Folge ineinandergeschachtelter physikalischer Systeme von der Metagalaxis bis zu den unteilbaren Elementarteilchen darstellt, die keine innere Struktur haben sollten. Dieses Bild stimmte auch gut mit dem gesunden Menschenverstand überein: Das Ganze ist stets größer als jeder seiner Bestandteile. Heute jedoch wissen wir, daß ein Elementarteilchen einige ebensolche Teilchen enthalten kann, wie es selbst eins ist. So zerfällt

(dissoziiert) zum Beispiel ein Proton für sehr kurze Zeit in ein Proton und ein Pi-Meson und jedes Pi-Meson in drei Pi-Mesonen. Die gewohnten Vorstellungen vom Ganzen und von seinen Teilen, vom Einfachen und vom Zusammengesetzten verlieren demnach in der Mikrowelt ihren Sinn, und das gilt folglich auch für den gewohnten Begriff des Elementaren.«

Das ist ein weiteres glänzendes Beispiel für die ungewöhnlichen Eigenschaften der immer seltsamer werdenden Welt, Eigenschaften, die unseren gewohnten Anschauungen in keiner Weise entsprechen.

Wenn es aber in der Mikrowelt, bei den Elementarteilchen, so aussieht, müssen dann nicht auch die Vorstellungen vom Verhältnis zwischen Mikrowelt und Metagalaxis stark revidiert werden?

Einen Versuch dieser Art unternahm der theoretische Physiker Akademie–mitglied M. A. Markow. Er zeigte in einer Reihe von Arbeiten, daß das Weltall als Ganzes sogar im Rahmen der heutigen fundamentalen physikalischen Theorie unter gewissen Bedingungen »von außen« wie ein Elementarteilchen, etwa wie ein Proton oder Neutron, aussehen kann.

Markow kommt zu folgendem Schluß: »Ein fern vom Mittelpunkt dieser Welt befindlicher Beobachter nimmt sie als ein materielles Objekt wahr, das in einer minimalen Sphäre lokalisiert ist, als Objekt kleiner (wenn man will, mikroskopischer) Ausmaße, das insgesamt eine geringe (wenn man will, mikroskopische) Masse hat, obwohl in diesem Objekt das ganze Weltall mit seinen vielfältigen Galaxien enthalten sein kann.

»Damit unser Weltall«, meint Markow, »als Ganzes ein Teilchen mit mikroskopischen Parametern darstellt, ist in ihm eine mittlere Dichte von 10^{29}g/cm^3 notwendig. Die gegenwärtig registrierte mittlere Dichte der Masse in unserem Weltall ist etwas geringer.«

Hier entsteht ein völlig verblüffender Gedanke: Sind vielleicht alle von uns zu beobachtenden Elementarteilchen riesige Weltalle? Weltalle, die in unserer Welt als Elementarteilchen in Erscheinung treten? Anders ausgedrückt: Es ist nicht ausgeschlossen, daß auch in der Megawelt im Prinzip das Kleinere aus dem Größeren bestehen kann.

»Was erwarten Sie in der nächsten Zukunft von der Theorie der Elementarteilchen?« frage ich Wladlen Baraschenkow.

»Welche neuen Erkenntnisse, welche Entdeckungen?«

»Vor allem erwarte ich eine einheitliche Theorie der starken, schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkungen. Außerdem ist es notwendig, die Natur der Quarks zu erkennen und eine endgültige Antwort auf die Frage zu erhalten, warum es nicht gelingt, sie zu beobachten. Aufschlußreiche Resultate sind auch von der Gewinnung von Neutrinos zu erwarten, die eine

sehr wichtige Rolle bei den schwachen Wechselwirkungen spielen. Sehr interessant wäre es auch, zu wissen, warum die sogenannte T-Invarianz beim Zerfall eines Kaons (K-Mesons) verletzt wird.«

Um zu klären, wovon hier die Rede ist, muß etwas eingefügt werden. In der Physik der Mikrowelt gilt ein sehr wichtiges Erhaltungsgesetz, bekannt unter der Bezeichnung CPT-Theorem. Diesem Gesetz zufolge wird sich der Zustand eines physikalischen Systems nicht ändern, wenn alle Teilchen durch ihre Antiteilchen ersetzt werden (C-Transformation), das System als Spiegelbild wiedergegeben (P-Transformation) und der Ablauf der Zeit umgekehrt wird. Die das Verhalten des Systems beschreibenden Gleichungen ändern in diesem Fall ihre Form nicht. Bis 1964 war man der Meinung, daß auch CP-Transformationen den Zustand eines Systems nicht ändern (Gesetz von der Erhaltung der kombinierten Parität). Man hielt es für selbstverständlich, daß sich selbst durch eine T-Transformation nichts ändert. Dann stellte sich jedoch 1964 heraus, daß der Zerfall eines Kaons in zwei Pi-Mesonen mit dem Gesetz der kombinierten Parität nicht vereinbar ist.

»Wenn dieses Gesetz jedoch nicht erfüllt wird«, fährt Baraschenkow fort, »also die Gleichungen bei einer CP-Transformation ihre Form ändern, müssen folglich in der Mikrowelt zwischen dem direkten und dem umgekehrten Ablauf der Zeit wesentliche Unterschiede bestehen.«

Das Gespräch nähert sich nun einem Punkt, an dem das für mich Interessanteste beginnen soll. Die nächste Frage allerdings - braucht die heutige Theorie der Elementarteilchen prinzipiell neue, vielleicht sogar »verrückte« Ideen? - stelle ich nur vorsichtig. Ich weiß, daß die Physiker heute recht unterschiedlich, manche sogar aggressiv, auf diese Frage reagieren.

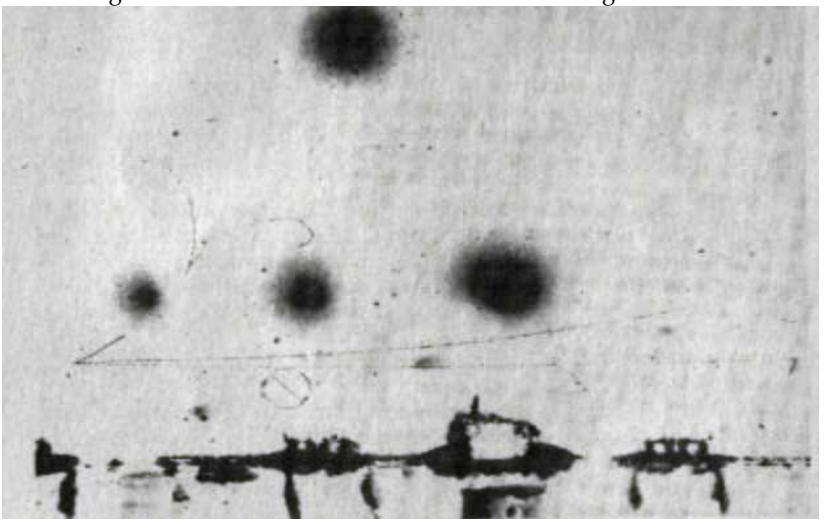
Meine Befürchtung erweist sich jedoch zum Glück als unbegründet: Baraschenkow faßt die Frage als etwas ganz Selbstverständliches auf. »Darüber ist sich gegenwärtig wohl niemand klar«, sagt er nachdenklich. »Es gibt heute auf diesem Gebiet sehr viel experimentelle Daten und auch viel Unverständliches. Man kann nicht ausschließen, daß es den Theoretikern gelingen wird, die Schwierigkeiten zu überwinden und das experimentelle Material ohne Zuhilfenahme prinzipiell neuer Gedanken zu erklären. Aber es ist auch möglich, daß es völlig neuer, darunter ganz ungewöhnlicher Gedanken bedarf.«

Ich will die nächste Frage stellen, aber da wird unser Gespräch wie in einer guten Kriminalgeschichte überraschend an der interessantesten Stelle unterbrochen: Die Klingel zum Beginn der Abendsitzung ertönt, und wir müssen die Fortsetzung des Gesprächs verschieben.

Der erste Redner auf dieser Abendsitzung ist übrigens mein Ge–sprächspartner, und sein Thema ist eine großartige Illustration zu der Feststellung, daß die Welt der Elementarteilchen immer seltsamer wird.
Einer der erstaunlichsten und beeindruckendsten Lehrsätze der modernen Physik ist unstrittig das Verbot von Überlichtgeschwindigkeiten. Nach diesem Prinzip, das Einstein seiner Relativitätstheorie zugrunde legte, können sich keinerlei physikalische Wechselwirkungen mit einer Geschwindigkeit ausbreiten, die die des Lichts im Vakuum überschreitet.
In letzter Zeit ist jedoch eine ganze Reihe von Arbeiten erschienen (und ihre Zahl wächst schnell von Jahr zu Jahr), deren Verfasser die Möglichkeit der Existenz von Teilchen untersuchen, die sich mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen.
Man nennt sie Tachyonen. Und gerade mit diesen Teilchen befaßte sich Baraschenkow in seinem Vortrag.
Wie ist das zunehmende Interesse an diesem Problem zu erklären?
Der Redner äußerte die Meinung, daß hierbei rein psychologische wie auch objektive physikalische Faktoren eine Rolle spielen. Erstens handelt es sich zweifellos um ein sehr anziehendes Problem. Allein schon die Vermutung, daß es solche Tachyonen gibt, muß die Phantasie anregen und sehr interessante neue Möglichkeiten versprechen. Zweitens stellen Untersuchungen in diesem Bereich keine besonders hohen Ansprüche an das physikalische Spezialwissen, so daß sich an solchen Arbeiten zahlreiche Physiker beteiligen können. Die Hauptsache liegt allerdings offenbar in etwas anderem, Wenn man das Problem vom rein physikalischen Standpunkt aus betrachtet, stellt sich heraus, daß die Tachyonenhypothese der speziellen Relativitätstheorie nicht widerspricht. Mehr noch: Sie macht diese Theorie symmetrischer, innerlich ausgewogener und dehnt sie auf die jenseits der Lichtschranke liegende Welt aus. Bei der Fortsetzung unseres Gesprächs nach dem Vortrag kam ich noch einmal auf diese Frage zurück. Wladlen Baraschenkow sagte nun:
»Die Tachyonenhypothese mag richtig oder falsch sein, aber jedenfalls fügt sie sich ganz natürlich in die spezielle Relativitätstheorie ein und schafft ein harmonisches, geschlossenes Bild. Natürlich kann die Richtigkeit der Hypothese nur experimentell bewiesen werden, aber ihre »Natürlichkeit« macht doch einen sehr starken Eindruck.«

Ich konnte mich nun nicht mehr zurückhalten und fragte dennoch:
»Bekanntlich ist es aber doch eine der Grundthesen der speziellen Relativi–tätstheorie, daß die Lichtgeschwindigkeit die maximal mögliche ist. Besteht da nicht ein Widerspruch zu der Annahme, daß es Teilchen gibt, deren Geschwindigkeit über der des Lichts liegt?«
Auf diese Frage war Baraschenkow in seinem Vortrag nicht eingegangen, weil er wohl die Antwort für selbstverständlich gehalten hatte. Ich wollte aber unbedingt, daß er sich hierzu äußerte. Korrekt wie immer, erläuterte er mir nun geduldig:
»Wie ich schon sagte, steht die Tachyonenhypothese nicht im Widerspruch zur Relativitätstheorie. Das ist deshalb so, weil das Verbot von Überlicht–geschwindigkeiten keine sich aus der Relativitätstheorie ergebende Folge, sondern nur eins der Axiome ist, die ihr zugrunde gelegt wurden. Demnach kann die spezielle Relativitätstheorie im Prinzip Überlichtgeschwindig–keiten nicht verbieten. Der Grundannahme zufolge müssen die Tachyonen, falls sie tatsächlich existieren, einen Bereich Jenseits der Lichtschranke »bewohnen« und in keinerlei Wechselwirkung mit »Nichttachyonen« treten. Es liegt hier demnach eine Ausdehnung der speziellen Relativitätstheorie auf hypothetische physikalische Erscheinungen vor, die jenseits der »Lichtschwelle« auftreten. Die Welt der Tachyonen schneidet sich nirgends mit der Welt, in der Geschwindigkeiten bis zur Lichtgeschwindigkeit herrschen. Beide Welten stehen offenbar in keiner Wechselwirkung miteinander.« Ich war jedoch sehr daran interessiert, daß Baraschenkow über den Rahmen rein physikalischer Erwägungen hinausging, da ich wußte, daß seine hierhergehörigen philosophischen und methodologischen Überlegungen tiefschürfend und originell sind. Ich warf deshalb ein:
»Dennoch macht es den Eindruck, daß die Hypothese der Über–lichtgeschwindigkeiten etwas physikalisch Ungereimtes ist.«
Hier nun sagte Baraschenkow etwas, was mir als sehr wichtig erscheint, nicht nur für die Tachyonenhypothese, sondern überhaupt für die Physik und Astrophysik wie für den gesamten Prozeß der wissenschaftlichen Erkenntnis:
«Hier geht es nur darum, was man als »physikalisch ungereimt« bezeichnet. Eine Beziehung oder ein Prozeß, der im Bereich der uns gewohnten Erscheinungen nicht zu verwirklichen ist, kann in einem anderen Bereich von Erscheinungen realisierbar sein. Unsere Vorstellungen vom Möglichen und Unmöglichen sind, anders ausgedrückt, relativ. Als physikalisch unsinnig kann man nur solche theoretischen Schlüsse ansehen, die mit bekannten fundamentalen Naturgesetzen auf dem Gebiet in Widerspruch

stehen, auf dem sie hinreichend gut geprüft sind. Die Tachyonenhypothese jedoch gerät, wie ich schon sagte, nicht in derartige Widersprüche.«
Aber ich habe vorgegriffen: Dieses Gespräch fand erst am folgenden Tag statt. Jetzt geht es erst einmal weiter mit dem Vortrag über die Tachyonenhypothese. Die Konferenzteilnehmer nahmen dieses Thema ebenso selbstverständlich auf wie jedes andere, und gerade das beweist, daß für den heutigen Physiker und Philosophen die immer seltsamer werdende Welt eine ganz natürliche Sache ist: Das weitere Vordringen in diese Welt



Wechselwirkung eines Neutrinos in der Blasenkammer SKAT des Instituts für Hochenergiephysik der UdSSR in Serpuchow

läßt sich nicht vom Prozeß der wissenschaftlichen Erkenntnis trennen. «In der Physik sind gegenwärtig zwei Typen von Teilchen bekannt, zwischen denen es keinen Übergang gibt. Das sind einerseits Teilchen, deren Bewegungsgeschwindigkeit geringer als die des Lichts ist (Protonen, Neutronen, Elektronen usw.), und andererseits Teilchen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen (Photonen und Neutrinos).
Wenn sich herausstellen sollte, daß es tatsächlich Tachyonen gibt, wären sie ein dritter Teilchentyp. Ein zu einem dieser Typen gehörendes Teilchen kann bei keiner der uns bekannten Wechselwirkungen in ein Teilchen des anderen Typs übergehen. Ich betone: bei keiner der uns bekannten Wechselwirkungen. Auf einem von der modernen Physik noch nicht erforschten sehr tiefen Niveau kann das vielleicht anders sein.«

Weiter befaßte sich Baraschenkow dann mit einigen prinzipiellen Problemen, die die Tachyonenhypothese aufgeworfen hat. Das Hauptproblem hängt mit unseren heutigen Kausalitätsvorstellungen zusammen.

Nach der speziellen Relativitätstheorie werden zwei Ereignisse A und B, die in einem bestimmten Bezugssystem stattfinden - etwa auf dem Bahnsteig eines Bahnhofs -, vom Standpunkt eines anderen Bezugssystems, das sich relativ zum ersten mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt - etwa aus dem Fenster eines den Bahnhof durchfahrenden Zuges -, zeitlich etwas anders liegen, zeitlich verschoben sein.

Wie sich das Zeitintervall zwischen zwei Ereignissen beim Übergang von einem Bezugssystem zu einem anderen ändert, läßt sich in der Relativitätstheorie mit Hilfe besonderer mathematischer Formeln, bekannt als Lorentz-Transformationen, berechnen.

Je schneller sich in unserem obigen Beispiel der Zug bewegt, desto kürzer wird dieses Zeitintervall. Mit der Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit wird das Zeitintervall zwischen A und B zwar immer kleiner, aber die Aufeinanderfolge der Ereignisse bleibt doch für den Beobachter auf dem Bahnsteig wie für den Reisenden im Zug dieselbe.

Und wenn nun die Geschwindigkeit des Zuges die des Lichts überschreiten würde?

Aus den Lorentz-Transformationen ist abzuleiten, daß das Zeitintervall zwischen A und B in diesem Fall für den Reisenden im Zug negativ wird. Mit anderen Worten: In diesem Bezugssystem tauschen die Ereignisse A und B zeitlich ihre Plätze: Die Folge entsteht vor der Ursache.

Die Tachyonenhypothese führt demnach automatisch zu dem Schluß, daß es in der Natur Prozesse mit unbestimmter Richtung gibt. Man kann ein Bezugssystem wählen, in dem Ursachen und Folgen ihre Plätze tauschen.

Hier drängt sich wohl die Frage auf: Ist es mit Hilfe eines Tachyonenstrahls möglich, sozusagen in die Vergangenheit einzudringen?

Wie als Antwort auf diese gar nicht laut gestellte Frage fuhr der Vortragende fort:

»Mit einem Tachyonenstrahl könnte man beispielsweise ein in die Vergangenheit gerichtetes »Telefon« entwickeln oder auch in diesem Augenblick solch einen Strahl abschießen und sich damit selbst gestern vormittag elf Uhr, erschießen. So entstehen also Paradoxa. Wenn man übrigens einen Bereich betrachtet, in dem nur Wechselwirkungen mit Überlichtgeschwindigkeit herrschen, gibt es dort keine derartigen Paradoxa. Sie entstehen nur in den Fällen, in denen Signale mit Überlichtgeschwindig–

keit anderen Signalen benachbart sind, die sich mit Lichtgeschwindigkeit oder langsamer bewegen. Und .während in derartigen Situationen eine Verletzung der Kausalität für Mikroprozesse noch vermeidbar ist, tritt sie für gewöhnliche makroskopische Prozesse unausweichlich ein. In der Sprache der modernen Physik ausgedrückt, heißt das: Wenn wir die Existenz von Tachyonen annehmen, gelangen wir zu einer Verletzung des Kausalitätsprinzips.«

Leicht gesagt! Aber hier handelt es sich schließlich um eins der fundamentalsten Prinzipien der modernen Wissenschaft. Akademiemitglied N. N. Bogoljubow hat dieses Prinzip in allgemeinster Weise formuliert: »Jedes in einem physikalischen System vor sich gehende Ereignis kann lediglich in der Zukunft einen Einfluß auf die Evolution dieses Systems ausüben und kann das Verhalten dieses Systems in der Vergangenheit nicht beeinflussen.«

Unter gewöhnlichen Bedingungen wird das Kausalitätsprinzip niemals verletzt. (Zumindest sind uns Fälle dieser Art unbekannt.) Wenn man es jedoch als möglich zuläßt, daß physikalische Signale mit Überlicht–geschwindigkeit übertragen werden, dann können in diesem Fall Ursachen und Folgen ihre Plätze tauschen. An dieser Stelle muß ich erneut meinen Bericht von der Konferenz unterbrechen und mich wieder dem mit Baraschenkow am nächsten Tag geführten Gespräch zuwenden. Ich wollte gern noch Genaueres über einige Einzelheiten erfahren, die für den Leser wohl ganz aufschlußreich sind. Zunächst stellte ich Wladlen Baraschenkow die Frage:

»Kann man sagen, daß für Prozesse, die mit Überlichtgeschwindigkeit ablaufen, die Gegenüberstellung von Vergangenheit und Zukunft relative Bedeutung erlangt?«

»Ja, so ist es. Das Wesen der Paradoxa, von denen ich gestern sprach, liegt in folgendem: In Prozessen, in denen Signale mit Überlichtgeschwindigkeit auftreten, hängt die zeitliche Aufeinanderfolge der Ereignisse — welches findet früher, welches später statt? — von der Wahl des Koordinatensystems ab. Die Richtung des Informationsstroms, die die Grundlage des Kausalzusammenhangs bildet, .ändert sich demgegenüber bei einem Wechsel des Koordinatensystems nicht. Und deshalb eben wird die Kausa–lität verletzt, übrigens nicht nur diese. Für makroskopische Erscheinungen bedeutet eine Zeitumkehr des Informationsstroms auch eine Verletzung solch eines fundamentalen Erhaltungsgesetzes wie des zweiten Gesetzes der Thermodynamik.«

»Des Gesetzes, das den Übergang von kälteren zu wärmeren Körpern verbietet?«

«Ja, so ist es.«
»Könnten Sie vielleicht«, fragte ich, »um der Anschaulichkeit willen als Beispiel einen physikalischen Prozeß anführen, in dem beim Vorliegen von Signalen mit Überlichtgeschwindigkeit die Kausalität verletzt wird?«
»Wir stellen uns vor, daß sich am Punkt A eine Tachyonenquelle, am Punkt B ein Empfänger für Tachyonen befindet. Zwischen beiden sei ein Spalt, dessen Breite wir ändern und damit die Intensität des Tachyonenbündels regeln oder, wie der Physiker sagt, modulieren können.« Er nahm ein Blatt Papier und zeichnete rasch ein einfaches Schema. »Da sich jedoch die Tachyonen mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen, kann man ein anderes derartiges Koordinatensystem wählen, in dem der Prozeß in umgekehrter Richtung verläuft, das Tachyonenbündel also vom Punkt B ausgeht. Dabei wird es, wie Sie sehen, bereits vor dem Spalt moduliert. So entsteht doch eine wahrhaft paradoxe Situation: Der Spalt weiß sozusagen, wie er schwingen soll. Auf der Strecke zwischen B und dem Spalt erscheint die Modulation des Tachyonenbündels als ein willkürliches, ursacheloses, unerklärliches Phänomen.«
Die Frage, ob es einen Ausweg aus dieser Situation gibt, hatte Baraschenkow bereits am Vortag in seinem Vortrag ausführlich beantwortet: »Für die Lösung des Tachyonenproblems werden unterschiedliche Wege vorgeschlagen. Einige ausländische Physiker sind der Meinung, daß die Ursache nicht unbedingt der Folge vorausgehen muß, daß vielmehr nur eine gewisse Verbindung, eine Korrelation der Ereignisse vorliegt und daß es notwendig ist, den Kausalitätsbegriff zu revidieren. Logisch läßt sich möglicherweise solch ein Schema aufbauen, aber dieses Vorgehen steht im Widerspruch zum physikalischen Experiment. Jedenfalls ist es nicht gelungen, bis zu Abständen von 10^{-15} cm irgendwelche Verletzungen der Kausalität im üblichen Sinn festzustellen. Auch in methodologischer Sicht ist das Vorgehen, von dem hier die Rede ist, nicht befriedigend: Hier wird die Hauptsache fallengelassen — der genetische Zusammenhang zwischen den Ereignissen, jener prinzipielle Umstand, daß ein Ereignis ein anderes hervorbringt. In realen physikalischen Prozessen und Experimenten sagen wir stets die Zukunft aufgrund der Vergangenheit voraus und nicht umgekehrt.«
Abschließend sagte Baraschenkow in seinem Vortrag:
»Am interessantesten ist ein anderer Weg: Man muß das Wesen der Kausalitätsverletzungen analysieren, auf die wir bei der Einführung von Signalen mit Überlichtgeschwindigkeit stoßen, und klären, was sie in Wirklichkeit bedeuten. Und dennoch: Endgültig geklärt werden kann die

Frage nach der Existenz von Tachyonen nur durch das Experiment.«
Um der Gerechtigkeit willen muß nun allerdings auch gesagt werden, daß es theoretische Physiker gibt, die der Tachyonenhypothese recht gleichmütig gegenüberstehen. So hörte ich J. A. Smorodinski auf eine Frage nach den Tachyonen sagen:
»Der Gedanke der Tachyonen widerspricht im Prinzip keiner einzigen fundamentalen physikalischen Theorie.« Skeptisch lächelnd fügte er hinzu: «Er folgt aber auch aus keiner dieser Theorien.«
Natürlich werden nicht alle theoretischen Ideen realisiert. Manche haben gewissermaßen Erkundungscharakter. Möglicherweise gehört dazu auch die Tachyonenhypothese. Dennoch ist sie eine Sonde, die in eins der verlockendsten Gebiete, in den Bereich jenseits der »Lichtschwelle«, geschickt wird.

Wie schwer ist ein Schwarzes Loch?

Die Mittagspause des nächsten Konferenztages nutzen wir -Wladlen Baraschenkow und ich - aus, um unser unterbrochenes Gespräch wieder aufzunehmen.
Heute geht es mir um einige Fragen, die von der Physik der Mikrowelt zur Physik des Weltalls führen. Vorher jedoch möchte ich mit den Tachyonen zum Schluß kommen: Gibt es irgendwelche experimentellen Hinweise auf die Existenz von Tachyonen, und besteht überhaupt eine Hoffnung, solche Hinweise zu erhalten? Baraschenkow zuckt mit den Schultern.
»Bisher gibt es keine Hinweise dieser Art. Aber vielleicht liegt es daran, daß bei den entsprechenden Experimenten irgendwelche uns vorläufig noch unbekannten Eigenschaften der Tachyonen nicht berücksichtigt worden sind. Interessant ist der Versuch, Tachyonen anhand der sogenannten Tscherenkow-Strahlung nachzuweisen. Der Theorie zufolge müßten Teilchen, die sich mit Überlichtgeschwindigkeit im Vakuum bewegen, elektromagnetische Wellen aussenden. Allerdings wird es sehr schwer sein, solch eine Strahlung zu messen.«
In unserem Gespräch tritt eine Pause ein. Ich habe meine Fragen zwar vorbereitet, überlege mir aber immer wieder ihre Formulierung. Von Baraschenkow möchte ich nicht nur sein Urteil über den heutigen Stand der

Theorie der Elementarteilchen hören. Ich möchte auch seine Meinung darüber wissen, was dieses Gebiet der Physik Lehrreiches für den Forscher und den Menschen unserer Zeit überhaupt bietet.

»Die Theorie der Elementarteilchen«, antwortet mein Gesprächspartner nach kurzem Nachdenken, »ist vor allem deshalb lehrreich, weil sich die Kraft einer wissenschaftlichen Theorie hier besonders eindrucksvoll geltend macht. So wurden zum Beispiel die Quarks erfunden, nicht aber im Experiment nachgewiesen. Lehrreich ist auch, daß bei der Entwicklung dieser Theorie immer wieder eine Menge überraschender Begriffe und Bilder entstehen, die die gewohnten Grundlagen erschüttern. Auch hier braucht man nur an die Quarks zu erinnern. Eben damit wird anschaulich und überzeugend demonstriert, daß man wissenschaftlichen Erkenntnissen keinen absoluten Charakter beimessen darf. Die Physik wird als Wissenschaft niemals abgeschlossen, vollendet sein.«

»Und welche philosophischen Probleme treten im Zusammenhang mit der modernen Theorie der Elementarteilchen auf?«

«Über die Klärung der Erscheinung des Elementaren habe ich bereits gesprochen. Daneben besteht eins der Hauptprobleme von großer philosophischer Bedeutung darin, was die »Raum-Zeit« im physikalischen Sinn ist. Ein weiteres wichtiges Problem ist die Verallgemeinerung des Kausalitätsbegriffs, der sich in seiner jetzigen Fassung in manchen Fällen als unzureichend erweisen kann. Es gibt noch einige methodologische Probleme, die in der einen oder anderen Weise mit der Erforschung der Elementarteilchen zusammenhängen. Was heißt: eine gute Theorie? Was heißt: erklären? Was heißt: eine einheitliche Theorie? Ist einem System von Gleichungen oder einem Modell der Vorzug zu geben? Dazu kommen einige weitere Probleme.«

Wir kommen nun auf das Problem »Mikrowelt und Weltall« zu sprechen.

»Der wechselseitige Zusammenhang zwischen Mikro- und Makroprozessen ist ein konkreter Ausdruck der Dialektik der Natur, des allgemeinen Zusammenhangs ihrer Erscheinungen. Es läßt sich schon heute mitunter schwer unterscheiden, wo es sich um Kosmologie und wo um die Theorie der Elementarteilchen handelt. Im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit der modernen Astrophysik stehen Objekte, die sich durch extrem hohe Dichte und teilweise auch durch sehr geringe Größe auszeichnen. Als Objekte, bei denen der Zusammenhang zwischen Mikroprozessen und Makrowelt real zum Ausdruck kommt, kann man die Schwarzen Löcher mit einem Radius von 10^{-13} cm anführen. Ihre Masse muß 10^{8} Tonnen betragen. Der experimentelle Nachweis dieser erstaunlichen Objekte ist eine der interessante–

sten Aufgaben der modernen Physik. Derart extreme Zustände der Materie können nicht allein im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins beschrieben werden, denn bei so hohen Dichten entstehen zwangsläufig spezifische Quanteneffekte. Eine der wichtigsten Aufgaben der modernen Physik ist daher der Aufbau einer Quanten-Gravitationstheorie, die die allgemeine Relativitätstheorie mit der Quantenphysik vereinigt.«

Das seltsame Vakuum

Mit D. A. Kirshniz, heute Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, war ich an der Physikalischen Fakultät in Moskau in einer Seminargruppe. Nach dem Studium sahen wir uns jahrelang nicht. Hin und wieder stieß ich in physikalischen Zeitschriften auf seine Arbeiten, die mich stark interessierten. Kirshniz befaßte sich mit der Struktur der Elementarteilchen und dem physikalischen Vakuum, also mit Problemen, die eine enge Beziehung zur Astrophysik haben. Aber unsere Wege kreuzten sich nicht: Die Physiker stehen eben doch der Astronomie ferner, als das wünschenswert wäre.

In das Programm einer Vortragsreihe »Die Physik vom Weltall«, die im Moskauer Planetarium laufen sollte, wollte ich auch das Thema «Das physikalische Vakuum« aufnehmen und dachte dabei sofort an Kirshniz. Als ich seine private Telefonnummer wählte, war ich unschlüssig, wie ich das Gespräch eröffnen sollte. Immerhin war viel Zeit verstrichen. Ich stellte mich also mit meinem Familiennamen vor und bekam sofort zu hören: »Warum denn so förmlich?«

Wir waren uns schnell einig, und ich schlug Kirshniz für seinen Vortrag folgende Gliederung vor: Geschichte der Erforschung des Vakuums - Heutige Vorstellungen - Experimentelle Befunde -Das Problem der Entstehung von Teilchen - Astrophysikalische Aspekte der Vakuumtheorie.

Kirshniz stimmte zu, und nach einiger Zeit trafen wir uns im Physiksaal des Planetariums. Ich hatte die leichte Befürchtung, daß Kirshniz kompliziert und für die meisten Zuhörer unverständlich sprechen werde. Aber diese Befürchtung erwies sich als unbegründet. Trotz des schwierigen Themas konnte der Vortrag als Musterbeispiel dafür gelten, wie man auch die tiefschürfendsten Probleme der modernen Naturwissenschaft exakt, klar

und verständlich darlegen kann.
»Wir wollen uns zunächst eine Frage stellen«, begann Kirshniz. »Was wird sein, wenn man aus einem gegebenen Volumen alles, was möglich ist, entfernt? Was bleibt dann übrig: bloße, trostlose Leere oder doch noch irgendein physikalisches System mit komplizierten Eigenschaften, ein physikalisches Vakuum?«
Vor den Zuschauern entfaltete sich nun die Geschichte der Erforschung der »Leere«. Einst waren die Physiker davon überzeugt, daß es in der Natur die absolute Leere gibt. Anfang des 19. Jahrhunderts sahen sich die Physiker jedoch angesichts der stürmischen Entwicklung der Optik veranlaßt, darüber nachzudenken, was das Licht ist und auf welche Weise es sich ausbreitet.
In Analogie zu den Schallwellen, die sich in einem elastischen Medium ausbreiten, nahm man an, daß sich auch die Lichtwellen in einem besonderen Medium, in dem den ganzen Raum füllenden Äther, ausbreiten. Die Schwingungen dieses Äthers sollten die Lichtwellen sein.
Die Optik machte aber bald eine Entdeckung, die in einem unversöhnlichen Widerspruch zur Ätherhypothese stand: Die Lichtwellen sind Transversal–wellen, das heißt, die Schwingungen einer Lichtwelle erfolgen senkrecht zur Richtung ihrer Ausbreitung. Transversal- oder Querwellen können sich aber nur in »festen« Medien ausbreiten. Der Äther jedoch kann nicht »fest« sein, sonst könnten sich die Planeten nicht in ihm bewegen. Vorstellungen von einem Äther in verschiedenen Varianten hielten sich trotzdem noch verhältnismäßig lange, und erst Einsteins spezielle Relativitätstheorie setzte ihnen ein Ende, diesmal freilich für immer. Es wurde geklärt, daß das Licht keinen materiellen Träger braucht, Lichtstrahlung ist selbst Materie.
Damit schien das Problem auf seinen ursprünglichen Stand zurückzukehren: Das Vakuum ist absolute Leere. Bald darauf erschien jedoch eine weitere fundamentale physikalische Theorie: die Quantenmechanik. Und damit eröffnete sich die Möglichkeit, sich im Experiment davon zu überzeugen, daß das Vakuum ein sehr kompliziertes physikalisches System ist.
Kirshniz fuhr fort: »Es zeigte sich ein erstaunlicher Umstand: Ein Mikroobjekt, etwa ein Elektron, kann sich niemals im Zustand der Ruhe befinden. Anderenfalls würde das Unbestimmtheitsprinzip verletzt. Wenn ein Elektron unbeweglich ist, ist seine Geschwindigkeit gleich Null, sind folglich seine Lage im Raum und seine Geschwindigkeit eindeutig fixiert. Unter dem Gesichtswinkel des Unbestimmtheitsprinzips sind diese Umstände, jedoch absolut unvereinbar miteinander. Es ist folglich unmög–

lich, einem Elektron seine gesamte Energie zu nehmen, es wird sich unter allen Bedingungen bewegen, wird vibrieren. Das ist das Grundlegende, der Kern der heutigen Vorstellungen, vom Vakuum. Jedes beliebige Mikro–system muß sich ständig bewegen. In jedem kleinen Raumvolumen werden unaufhörlich Teilchen-Antiteilchen-Paare geboren: Sie entstehen und werden sofort unter Aussendung von Lichtquanten annihiliert, die ihrerseits augenblicklich absorbiert werden. Im Mittel ist nichts da, und wir sehen nichts, obwohl in dem betreffenden Volumen in jedem Augenblick eine Vielfalt von Teilchen und Strahlungsquanten existiert. Immer wieder entsteht diese Vielfalt und wird erneut vernichtet. Diese Er-scheinung erhielt die Bezeichnung Nullschwingungen des Vakuums. Und die Teilchen, die gewissermaßen existieren und nicht existieren, heißen virtuelle Teilchen.«

Während ich Kirshniz zuhörte, fiel mir die Geschichte des ersten Experiments ein, aus dem folgte, daß das Vakuum etwas physikalisch völlig Reales ist, ein Experiment, das viele als »Experiment des Jahrhunderts« bezeichnen. Bereits in den dreißiger Jahren hatte Paul Dirac in theoretisch glänzender Weise, wie das für ihn bezeichnend war, das Emissions–spektrum des Wasserstoffatoms, eines aus einem Proton und einem Elektron bestehenden Systems, exakt berechnet. Daraus folgte, daß das zweite Energieniveau des Elektrons in Wirklichkeit zwei miteinander ver–schmolzene Niveaus sind.

Einige Jahre später untersuchte der amerikanische Physiker Leon Pasternak experimentell optische Spektren des Wasserstoffs, speziell den Übertritt des Elektrons vom zweiten auf das erste Niveau. Es schien ihm, daß dabei den Berechnungen Diracs zuwider nicht eine, sondern doch zwei Linien entstehen. Das Ergebnis wurde jedoch an der äußersten Grenze der Möglichkeiten des Geräts, das Pasternak benutzte, gewonnen, und obwohl der Forscher einen ausgezeichneten Ruf als Spektroskopiker hatte, wurde seine Beobachtung von niemandem ernst genommen.

Dann kam der zweite Weltkrieg, und es wurde die Radar-, die Funkmeßtechnik, entwickelt. Zu denen, die mit diesen neuen Geräten arbeiteten, gehört auch der amerikanische Physiker Willis Lambe. Nach dem Krieg entschloß er sich, sich noch einmal dem Experiment Pasternaks zuzuwenden. Falls sich das zweite Energieniveau tatsächlich in zwei Niveaus aufspaltet, dann muß es -so urteilte Lambe — auch einen Übergang zwischen beiden Niveaus geben. Für diesen Fall aber würde die entsprechende Emissionslinie, wie aus Berechnungen folgte, im Radio–wellenbereich liegen. Um das zu prüfen, arbeitete Lambe zunächst mit einem

ausgedienten Funkmeßgerät, das er dann als Muster für den Bau eines speziellen Geräts benutzte. Das war der Ausgangspunkt für einen neuen Bereich der Physik, für die Radiospektroskopie. Und Lambe entdeckte das, was er erwartet hatte.

Bei Dirac hatte sich allerdings eine kleine Unrichtigkeit eingeschlichen, denn er hatte den physikalischen Effekt außer acht gelassen, der die Aufspaltung des zweiten Niveaus bewirkt. Der berühmte Physiker hatte das aus einem Proton und einem Elektron bestehende physikalische System untersucht, und nur das. In der realen Welt gibt es aber solch ein System gar nicht: Es gibt das Proton und das Elektron, und beide befinden sich im Vakuum. Das Proton ist ein schweres Teilchen und unterliegt nicht den Schwingungen des Vakuums, das Elektron jedoch beginnt unter deren Einfluß selbst zu schwingen. Und das eben führt zu der von Lambe beobachteten Aufspaltung der Energieniveaus. Der Vortragende fuhr fort: »Es heißt, Dmitri Blochinzew habe schon vor dem Krieg in einem von Akademie–mitglied Igor Tamm geleiteten Seminar eine völlig richtige Erklärung des von Pasternak im Experiment gewonnenen Resultats gegeben. Er hatte nämlich gesagt, dieser Effekt könne von den Schwingungen des Vakuums herbeigeführt werden. Damals war man sich jedoch noch nicht voll bewußt, daß die Welt zwangsläufig immer seltsamer wird. Blochinzews Gedanke wurde für so abwegig gehalten, daß niemand ihn ernst genug nahm. Leider ist auch ein entsprechender Aufsatz nicht veröffentlicht worden.«

Kirshniz fügte noch hinzu: »Die theoretische Analyse der Versuche Lambes war, nebenbei gesagt, das Thema meiner Diplomarbeit. Aber auch noch in den ersten Nachkriegsjahren, in die mein Studium fiel, war das physikalische Vakuum für die meisten, auch wenn sie der Physik sehr nahe standen, etwas jenseitiges. Ich will dazu eine kleine Geschichte erzählen. Nach dem Studium begann ich als Physiker in einem Industriebetrieb zu arbeiten. Da ich jedoch Theoretiker war, wußte man dort lange nicht, wo man mich einsetzen sollte. Eines Tages erkundigte sich ein Ingenieur nach dem Thema meiner Diplomarbeit. Als er hörte, daß ich mich mit dem Vakuum befaßt hatte, freute er sich riesig. ‚Warum haben Sie das denn nicht eher gesagt?' Ich erhielt einen Pinsel und einen Eimer mit Seifenschaum und dazu den Auftrag, in einer Vakuumanlage eine undichte Stelle ausfindig zu machen.«

»Und wie ist es heute?« ertönte ein ungeduldiger Zwischenruf. Kirshniz warf einen aufmerksamen Blick auf den Zwischenrufer, machte eine kleine Pause und holte dann weit aus: »Zwei elektrische Ladungen mit verschiedenem Vorzeichen ziehen einander in der Leere mit einer gewissen

Kraft an. Wenn man sie in irgendein Medium versetzt, ändert dessen Einfluß die Stärke der Wechselwirkung zwischen den Ladungen. Im Wasser zum Beispiel beträgt sie nur noch ein Achtzigstel. Im Vakuum geschieht etwas Ähnliches. Wenn sich beispielsweise ein positiv geladener Kern im Vakuum befindet, tritt er in Wechselwirkung mit virtuellen Elektronen und Positronen. Die Elektronen zieht er an, die Positronen stößt er ab. Die Wechselwirkung zwischen zwei Kernen wird infolgedessen nicht völlig dem Coulombschen Gesetz folgen. Und diese Abweichung ist im Experiment, speziell bei Versuchen in Beschleunigern zu beobachten. Die Streuung eines Elektronenbündels von hoher Energie an Protonen erfolgt unter dem Einfluß des Vakuums nicht ganz so, wie es bei absoluter Leere sein müßte. Daraus kann geschlossen werden, daß das Vakuum ein Medium ebenso wie die anderen Medien ist, mit denen wir gewöhnlich zu tun haben. Die Frage ist nur, welchen der uns bekannten Medien es ähnelt. Einem Metall, einem Halbleiter, einem Dielektrikum, einer Flüssigkeit? Untersuchungen während der letzten Jahre ist es zu danken, wenn wir zu verstehen beginnen, daß sich das Vakuum in mancherlei Beziehung wie ein Supraleiter verhält.«

Ich habe die Angewohnheit, mir Notizen von den Fragen zu machen, die Hörer stellen. Am Tag nach dem Vortrag von Kirshniz sah ich diese Notizen durch und versuchte, mir die Antworten ins Gedächtnis zurückzurufen.

Frage: »Sie sagten, das Vakuum ähnele einem Supraleiter. Was ist das, ein Supraleiter?«

Antwort: »Die Supraleitung ist eine außerordentlich interessante Erschei–nung. Bei einer Senkung der Temperatur auf 23,4 K - das sind -250 °C - wird der elektrische Widerstand in manchen Metallen gleich Null. Tatsächlich gleich Null. Er wird nicht so gering, daß man ihn vernachlässigen könnte, sondern er verschwindet völlig.

Man hat einmal folgenden Versuch gemacht: Ein in einem Stromkreis, der sich in verflüssigtem Helium befand, erregter Strom zirkulierte darin vierzehn Monate lang ohne jede Schwächung, das heißt so lange, bis die Versuchsanlage abgebaut wurde. Seit der Entdeckung der Supraleitung sind mehr als sechzig Jahre vergangen. Heute ist uns der physikalische Mechanismus dieser Erscheinung recht gut bekannt. Unter dem Einfluß des Kristallgitters ziehen die Elektronen im Supraleiter einander unter bestimmten Bedingungen an und bilden gebundene Paare. Für solche Paare ist es «günstig«, wie der Physiker gern sagt, sich auf einem niedrigen Energieniveau «niederzulassen«. Auf diese Weise bildet sich im Supraleiter eine Art Untersystem, ein Kollektiv mit der Energie Null, das die Eigenschaft

der Supraleitung hat. In diesem Untersystem bewegen sich, grob gesagt, die Elektronen ohne Reibung, und das eben ist Supraleitung.«
Frage: »Worin besteht denn nun die Ähnlichkeit zwischen einem Supraleiter und dem Vakuum?«
Antwort: »1967 entwickelten der amerikanische Physiker S. Weinberg und der pakistanische Physiker S. Salam, der in England und in Triest tätig war, eine interessante Vakuumtheorie, die stark an die Theorie der Supraleitung erinnert. Daraus folgte, daß im physikalischen Vakuum gleichfalls Teilchenkollektive entstehen können, die sich auf einem niedrigen Energieniveau befinden. Sie erhielten die Bezeichung »Kondensat«. Dabei zeigte sich ein verblüffender Umstand: Davon, wieviel «versteckte« Teilchen solch ein Kollektiv enthält, hängen die physikalischen Charakteristika der realen Teilchen ab, zum Beispiel ihre Masse.
Wenn ein Supraleiter erwärmt wird, gehen Teilchen aus dem supra–leitenden Kollektiv auf höhere Energieniveaus über, springen sozusagen nach oben. Das Kollektiv wird allmählich zerstört, so daß die Supraleitung schwächer wird und schließlich verschwindet. Etwas Ähnliches geht auch im Vakuum vor sich. Wenn man es erwärmt - im physikalischen Sinn kann man alles erwärmen -, beginnt das »Kondensat« zu »verdampfen«, die Massen der realen Teilchen nehmen entsprechend ab, und der Charakter der Wechselwirkung zwischen ihnen ändert sich. Sobald die kritische Temperatur von 10^{16} °C erreicht ist, erfolgt im Vakuum ein Phasenübergang, der zu einer radikalen Änderung seiner Eigenschaften, folglich auch der Eigenschaften der realen Teilchen führen muß. Selbstverständlich ist diese Ähnlichkeit zwischen Supraleiter und Vakuum nur eine Analogie.
Mit Recht sagt der sowjetische Physiker Akademiemitglied Arkadi Migdal: Die Leere ist ein besonderes, nichts anderem ähnelndes Objekt und verdient daher eine gesonderte Erforschung.«
Frage: »Haben die heutigen Vorstellungen vom Vakuum Bedeutung für die Astrophysik?«
Antwort: »10^{16} °C sind eine sehr hohe, aber durchaus nicht phantastische Temperatur. Beim Zusammenstoß von Teilchen hoher Energie, wie sie in der kosmischen Strahlung vorkommen, mit Protonen wird augenblicklich eine ungeheure Energie in einem sehr kleinen Volumen freigesetzt. Dabei kann eine so hohe Temperatur erreicht werden, die das Vakuum zum »Sieden« bringt. Eine der experimentellen Möglichkeiten liegt in dem Ver–such, bei solchen Prozessen den Phasenübergang im Vakuum zu beobachten. Wir wollen uns jedoch nun der Astrophysik unmittelbar zuwenden. In den Frühstadien der Expansion des Weltalls hat es eine Periode

gegeben, in der die Temperatur 10^{16} °C überstieg. Wie ich schon sagte, hängt die Masse der realen Teilchen von der Dichte des »Kondensats« ab und diese ihrerseits von der Temperatur. Wenn wir die Zeit in Gedanken zurückverfolgen, steigt die Temperatur, während die Masse des »Konden–sats« entsprechend abnimmt. Wenn uns schließlich noch 10^{-12} Sekunden vom Beginn der Expansion trennen, erreicht die Temperatur den kritischen Wert, und es erfolgt der Phasenübergang, das »Sieden« des Vakuums. Vom Beginn der Expansion bis 10^{-12} Sekunden danach gab es kein »Kondensat«, und die Masse der Teilchen war gleich Null. Als die Temperatur unter den kritischen Wert sank, vollzog sich ein Sprung, bei dem sich die Eigenschaften der Elementarteilchen änderten und sie eine Masse erhielten.«

Frage: »Die Physiker sprechen von der Möglichkeit der Entstehung von Teilchen aus dem Vakuum. Wie ist das zu verstehen?«

Antwort: »Wenn auf ein Vakuum von außen stark eingewirkt wird, zum Beispiel mit einem elektrischen Feld, können sich Teilchen, die vorher nicht zu beobachten waren, in reale Teilchen verwandeln. Mit anderen Worten: Unter bestimmten Bedingungen kann das Vakuum zur Quelle realer Teilchen werden, können aus dem Vakuum Teilchen entstehen.«

Zwischenruf: »Werden dabei nicht die Erhaltungsgesetze verletzt?«

Antwort: »Wenn sich Teilchen im »Kondensat« befinden, sind sie der Beobachtung nicht zugänglich. Als Ergebnis der Verdampfung des »Kondensats« treten sie jedoch in Erscheinung. Dabei wird das Gesetz von der Erhaltung der Energie scheinbar verletzt, aber eben nur scheinbar, denn insgesamt bleibt die Energie erhalten, nur ein gewisser Teil von ihr befindet sich in einer »unsichtbaren« Phase.«

Doch nicht ganz »schwarz«

Auf dem Heimweg nach dem Vortrag meinte Kirshniz zu mir:

»Mit dem Gedanken der Entstehung von Teilchen aus dem Vakuum hängt eine der meiner Meinung nach interessantesten Ideen der modernen Physik zusammen: die Idee von der Verdampfung der Schwarzen Löcher.«

Die Schwarzen Löcher sind eine der erstaunlichsten theoretischen Konstruktionen unserer Zeit, glänzende Vertreter der immer seltsamer wer–

denden Welt, Objekte des unsichtbaren Weltalls. Hinzu kommt, daß sie prinzipiell unsichtbar sind, denn aus einem Schwarzen Loch kann nichts nach außen dringen, und folglich können wir auch keinerlei Informationen über ihren inneren Zustand erhalten. So stellten sich uns diese Objekte wenigstens in der ersten Zeit dar. Aber die Theorie bleibt nicht stehen.

Einer der bedeutendsten sowjetischen Spezialisten für Schwarze Löcher ist Igor Nowikow. Er ist von dieser Hypothese förmlich gepackt und spricht von allem, was die Schwarzen Löcher betrifft, mit wahrem Feuereifer. Wegen dieses Themas traf ich mich ein zweites Mal mit ihm.

»Das Interesse an den Schwarzen Löchern ist kein Zufall«, sagt Nowikow einleitend. »Sie regen die Phantasie der Wissenschaftler wie überhaupt aller an, die sich für die wissenschaftlichen Fortschritte unserer Zeit interessieren. Es handelt sich dabei um völlig neue Objekte, die sich qualitativ von allem unterscheiden, was uns bekannt ist. Die Vorstellung, daß es Schwarze Löcher gibt, folgt aus der Gravitationstheorie Einsteins, aus seiner allgemeinen Relativitätstheorie, wenn auch bereits die Gravitationstheorie Newtons gewisse Hinweise auf die Möglichkeit der Existenz einer derartigen Erscheinung enthielt. Der Kern der Theorie Einsteins besteht darin, daß sie die geometrischen Eigenschaften des Raumes und den Ablauf der Zeit fest mit den Gravitationskräften verbindet. So folgt aus den Formeln dieser Theorie speziell, daß jeder Masse ein sogenannter Gravitationsradius entspricht, dessen Wert nur von der Größe dieser Masse abhängt. Ein sphärischer Körper von der Größe des Gravitationsradius oder von geringerer Größe kann sich nicht im Ruhezustand befinden, sondern muß sich zu seinem Mittelpunkt hin zusammenziehen. Ein Teilchen oder auch eine Rakete mit einem beliebig starken Triebwerk, die in einen Abstand vom Gravitationszentrum gelangt, der kleiner als der Gravitationsradius ist, muß unaufhaltsam zu diesem Zentrum fallen. Es genügt demnach, daß ein Körper auf die Größe seines Gravitationsradius zusammengepreßt wird, damit er sich zwangsläufig weiter von selbst zusammenzieht. So entsteht ein Schwarzes Loch. In ein Schwarzes Loch können Körper wie auch das Licht fallen, aber nichts kann aus ihm herauskommen, kein Teilchen, keine Strahlung, denn nichts kann sich schneller bewegen als das Licht.«

An der Entwicklung der Vorstellungen von den Schwarzen Löchern haben viele Wissenschaftler mitgewirkt. Eine bedeutsame Rolle haben dabei sowjetische Physiker und Astronomen gespielt, von denen vor allem die wissenschaftlichen Schulen zu nennen sind, die von den Akademie–mitgliedern J. B. Seldowitsch, W. L. Ginsburg und M. A. Markow geleitet werden.

Ich erkundige mich nun bei Igor Nowikow, ob es nicht trotz allem auf irgendeine Art und Weise möglich sein könnte, in das Innere eines Schwarzen Loches zu blicken.

»Ein Beobachter von außen wird niemals erfahren, was im Innern eines Schwarzen Loches vor sich geht, selbst wenn er seinen Rand erreicht hat. Dazu müßte der Beobachter in das Schwarze Loch eindringen, aber daraus gibt es keine Rückkehr. Er könnte uns nicht einmal irgendwelche Mitteilungen über seine Beobachtungen senden.«

»Und was geschieht mit der sich zusammenballenden Materie?«

»Die Kontraktion kann nicht zum Stillstand kommen, und nach kurzer Zeit — gemessen mit der Uhr eines auf der Oberfläche der kontrahierenden Materie befindlichen Beobachters - zieht sich die Materie auf einen »Punkt« zusammen, und ihre Dichte wird unendlich groß. Es entsteht die »Raum-Zeit-Singularität«. Die Raumkrümmung wird unendlich groß, und der Ablauf der Zeit wird extrem stark entstellt. Auch die Gravitationskräfte streben in der Nähe der Singularität den Wert «unendlich groß' an.«

Ich bitte Igor Nowikow, noch etwas zum Interessantesten, zur »Ver–dampfung« der Schwarzen Löcher, zu sagen.

»Aus den kürzlich von dem englischen Theoretiker S. Hawking angestellten Berechnungen folgt, daß es einen Quantenprozeß der Geburt von Teilchen durch das Gravitationsfeld des Schwarzen Loches selbst gibt, der zu einer Verringerung seiner Masse und seiner Größe führt. Das sich in der kontrahierenden Materie ändernde Gravitationsfeld verwandelt virtuelle in reale Teilchen. Das Schwarze Loch sendet Teilchen aus, verliert damit Masse und wird kleiner.

Berechnungen zeigen folgendes: Beim Fehlen von äußeren Einwirkungen, verdunstet' ein Schwarzes Loch mit der Masse eines Sterns in $10^{66}(M/M_c)^3$ Jahren; darin sind M die Masse des Schwarzen Loches und M_c die Masse der Sonne. Also nicht so bald, aber es verdunstet doch! Hawkings Entdeckung ist gerade deshalb prinzipiell wichtig, weil sie die Vorstellung widerlegt, daß Schwarze Löcher ewig existieren. Unter Ausstrahlung von Wärme verschwinden sie langsam, und die »Löcher« in Raum und Zeit schließen sich allmählich.«

Nowikow beendet seine Ausführungen: «Die Theorie der Schwarzen Löcher ist heute recht gut ausgearbeitet. Uns ist klargeworden, daß diese Objekte sehr kompliziert gebaut sein können, daß es nicht nur Löcher im Raum, sondern auch in der Zeit sind. Die Schwarzen Löcher sind ein konkreter Ausdruck des dialektisch-materialistischen Gedankens vom wechselseitigen Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der sich bewegenden Materie

und den Eigenschaften von Raum und Zeit. Und wenn sich die theoretischen Vorstellungen von der Existenz der Schwarzen Löcher bestätigen, wird das meiner Ansicht nach eins der bedeutendsten Ergebnisse der Wissenschaft des 20. Jahrhunderts sein. Und deshalb eben ist es so wichtig, im Weltall reale Schwarze Löcher zu entdecken, und wenn es nur ein paar sind.«

Gewissermaßen als Nachwort zu diesem Gespräch möchte ich die Auffassung von Akademiemitglied J. B. Seldowitsch anführen. Danach sind die Schwarzen Löcher möglicherweise ein spezieller Fall starker Änderungen der Eigenschaften von Raum und Zeit, die für die Eigenschaften der Elementarteilchen wesentlich sind. Im Zusammenhang damit steht die Schaffung einer einheitlichen Theorie aller Wechselwirkungen einschließlich der Gravitation auf der Tagesordnung. Sie wurde bekanntlich schon von Einstein angestrebt, aber ihm blieb der Erfolg versagt. Heute liegen dafür gewisse Voraussetzungen vor, aber es gibt auch noch viele Schwierigkeiten.

Schlußbemerkung

Wir leben im Zeitalter der wissenschaftlich-technischen Revolution. Die stürmische Entwicklung der Physik und Astrophysik macht uns mit immer ungewöhnlicheren, immer seltsameren Erscheinungen bekannt. Die Entdeckung solcher Erscheinungen wird in der modernen Natur–wissenschaft zu etwas Normalem. Immer deutlicher wird für uns das Bild des »unsichtbaren« Weltalls. Die weitaus meisten Physiker und Astrophysiker schließen sich heute dem Gedanken an, daß die Welt immer seltsamer wird. Streitgespräche und Diskussionen gelten im wesentlichen nicht mehr der Frage, ob diese »Welt« existiert oder nicht, sondern der Anwendbarkeit des Gedankens der immer seltsamer werdenden Welt auf den konkreten Einzelfall. Erörtert wird also die Frage, ob sich die eine oder andere außergewöhnliche Erscheinung in das System des vorhandenen Wissens einfügt oder ob zu ihrer Deutung der Rahmen der gewohnten fundamentalen Vorstellungen überschritten werden muß, ob es der Entdeckung neuer Naturgesetze und der Entwicklung prinzipiell neuer Theorien bedarf.

Welche Entdeckungen erwarten wir nun von der Astronomie und der Astrophysik in nächster Zukunft?

Leider ist es faktisch unmöglich, diese Frage auch nur einigermaßen bestimmt zu beantworten. Entdeckungen sind ja gerade deshalb Entdeckungen, weil sie in der Regel überraschend kommen und daher nicht vorhersagbar sind. Gerade überraschende Entdeckungen ändern das Antlitz der Wissenschaft und führen uns in neue unerforschte Regionen der immer seltsamer werdenden Welt. Einer der größten Physiker unserer Zeit, Pjotr Kapiza, erklärt dazu, daß die wichtigsten und interessantesten Entdek–kungen diejenigen sind, die sich nicht voraussehen lassen. Er zitiert in diesem Zusammenhang die Worte Hamlets: «Es gibt mehr Ding' im Himmel und auf Erden, als Eure Schulweisheit sich träumen läßt, Horatio.«

Dennoch kann man die aussichsreichsten Forschungsrichtungen, jene Brennpunkte nennen, an denen Entdeckungen zu erwarten sind.

Vielfach wird angenommen, daß sich die Astronomie immer enger mit der Physik verflechten wird. Das gilt besonders für die Erforschung von Prozessen, die bei extrem hoher Dichte ablaufen. Zur Beschreibung dieser Prozesse sind, wie gesagt, die heutigen fundamentalen physikalischen Theorien leider nicht mehr geeignet, was damit zusammenhängt, daß bei

sehr hoher Dichte spezifische Quanteneffekte entstehen müssen. Es gibt aber zur Zeit noch keine physikalische Theorie, die Prozesse vereinigt, bei denen Gravitationskräfte und Quantenerscheinungen die Hauptrolle spielen. Nach Ansicht vieler bedeutender Forscher ist der Aufbau solch einer Theorie für die moderne theoretische Physik die Aufgabe Nummer eins. Aller Wahrscheinlichkeit nach werden viele Probleme, die die heutige Physik und Astrophysik bewegen, eine Lösung finden, wenn es gelingt, Eigenschaften der Mikrowelt und des Kosmos zu einer Einheit zu verbinden.

Zu einer weiteren wichtigen Aufgabe wird, nach einem Ausdruck Nowikows, die Erforschung der «starken Prozesse« im Weltall. Insbesondere ist zu klären, in welchem Zustand sich die Materie zu Beginn der Expansion des Weltalls befand, welchen Gesetzmäßigkeiten die in diesem Zeitabschnitt ablaufenden Prozesse unterworfen waren und wie die Struktur des Weltalls entstand.

Nicht weniger bedeutsam als fundamentales Problem ist die Klärung der physikalischen Natur nichtstationärer Erscheinungen. Die Wissenschaft vom Weltall entwickelt sich in unseren Tagen sehr schnell. Sogar in die kurze Zeit, während das vorliegende Buch gedruckt wurde, fielen wichtige Ereignisse, von denen auf den vorangegangenen Seiten in der Zukunft gesprochen wurde, fanden Fragen eine Antwort, für die eine Lösung erst erwartet wurde.

Zu den Fortschritten, die eine neue Seite in der Erforschung des Weltalls aufschlagen, gehört auch das Radioteleskop KRT 10, entwickelt von sowjetischen Wissenschaftlern, Ingenieuren und Kosmonauten.

Dieses Radioteleskop wurde vom automatischen Transport-Raumschiff Progress 7 zum Orbitalkomplex Salut 6 - Sojus 34 gebracht. Dieses erste Orbital-Radioteleskop besteht aus einer parabolischen Spiegelantenne von zehn Meter Durchmesser, einem Empfänger mit hohem Auflösungs–vermögen und einem speziellen System, das die empfangenen Daten registriert sowie den Zeitpunkt, zu dem die einen oder anderen Erscheinungen beobachtet werden, fixiert.

Die Kosmonauten Wladimir Ljachow und Waleri Rjumin montierten das Instrument im Verbindungsteil der Orbitalstation. Nachdem dann Progress 7 abgekoppelt und von Salut 6 Abstand gewonnen hatte, wurde die Antenne des Radioteleskops ausgefahren und geöffnet.

Mit dem Radioteleskop KRT 10 wurden nicht nur selbständige, sondern auch gemeinsame Beobachtungen mit dem 70-Meter-Radioteleskop angestellt, das unlängst im Zentrum für kosmische Fernverbindungen auf der Krim in Betrieb genommen wurde.

Damit eröffnet sich eine einzigartige Möglichkeit, die sogenannte Winkelauflösung, das heißt das Vermögen eines radioastronomischen Systems beträchtlich zu erhöhen, kosmische Radioquellen voneinander zu unterscheiden, zu »trennen«. Dieses Vermögen hängt von der Basis ab: vom Abstand zwischen den gemeinsam arbeitenden Radioantennen. Die maximal mögliche Basis auf der Erde entspricht deren Durchmesser. Durch den Einsatz eines Orbital-Radioteleskops kann sie vergrößert .werden. Wie schon die ersten Beobachtungen zeigten, sind solche Radiobeobachtungen außerhalb der Atmosphäre durchaus real. Künftig werden wahrscheinlich riesige radioastronomische Raumstationen eingerichtet werden, die mit Hilfe der Raumfahrttechnik bis in Entfernungen von Millionen und Hunderten von Millionen Kilometern gebracht werden. Das wird es ermöglichen, die Winkelauflösung radioastronomischer Systeme um ein vielfaches zu vergrößern und die Erforschung vieler kosmischer Erscheinungen beträchtlich voranzubringen.

»Physikalisch gesehen, ist die Erde, mit den Sternen und den Galaxien verglichen, ein Sandkörnchen, und wir Astronomen empfinden das besser als alle anderen. Wir wollen das aber auch von einer anderen Seite betrachten: Der Mensch, der auf diesem winzigen Sandkörnchen lebt, kann denken und hat mit seinem Denken schon die entferntesten Galaxien erreicht… Der Mensch ist groß, denn seine Taten sind groß. Wenn wir die geistigen Kräfte des Menschen, besonders seine außerordentliche Fähigkeit, die ihn umgebende Natur zu erkennen, bedenken, erkennen wir, wie mächtig er ist.«